

Guía 4K HDR

Luis Ochoa & Francisco Utray

Versión 2019



CONTRALUZ
LABORATORIO
DE COLOR Y
CINE DIGITAL



Créditos y ‘disclaimer’

Editado en mayo de 2019, bajo licencia Creative Commons.

Reconocimiento – NoComercial – SinObraDerivada (by-nc-nd).



Luis Ochoa es [colorista](#) y diseñador de flujos de trabajo. Director de la [Sala Contraluz](#), boutique de color y laboratorio digital y del portal [709 MediaRoom](#).



Francisco Utray es profesor de Comunicación Audiovisual en la [Universidad Carlos III de Madrid](#) y miembro del grupo de investigación [TECMERIN](#).

Diseño y maquetación: Cristina Simón

Disclaimer

Los autores quieren dejar constancia de que para la realización de este estudio no se ha recibido ningún tipo de retribución, ni económica ni material, por parte de la industria. Se ha solicitado el préstamo de equipos a los fabricantes y distribuidores con el fin de hacer las evaluaciones, sin mediar ningún tipo de acuerdo de patrocinio que pudiera condicionar los resultados de la investigación. Esta Guía no pretende ser un listado exhaustivo y detallado de todos los equipos técnicos capaces de trabajar en 4K o en HDR. Los autores quieren mostrar algunos ejemplos de equipamiento en los distintos apartados, pero en ningún caso se encontrarán mencionados y actualizados todos los equipos de las distintas marcas y fabricantes. El objetivo de esta Guía es la divulgación de información actualizada sobre tecnología audiovisual pero no hacer un catálogo de materiales.

Los errores, omisiones, imprecisiones y generalizaciones que pueda haber en este documento son exclusivamente responsabilidad de sus autores y reflejan sus opiniones personales y su limitada experiencia con los equipos que se prueban y evalúan.



Guía 4K HDR Contraluz

Luis Ochoa & Francisco Utray

Versión 2019

- [Presentación](#)
- [Los cinco pilares de la Ultra HD](#)
- [HDR: alto rango dinámico](#)
- [Formatos y códecs](#)
- [Difusión en Ultra HD](#)
- [Captación 4K](#)
- [Postproducción](#)
- [Sonido para UHD y 4K](#)
- [Almacenamiento y archivo](#)
- [La migración a la televisión Ultra HD y al cine 4K](#)



| | |
|---|----|
| Presentación..... | 5 |
| Los cinco pilares de la Ultra HD..... | 7 |
| Resolución espacial | 8 |
| Resolución temporal: HFR..... | 10 |
| Profundidad de color..... | 12 |
| Gamut de color para 4K | 13 |
| Rango dinámico..... | 15 |
| Ajuste de los niveles de brillo: rango legal y rango extendido..... | 17 |
| HDR: Alto Rango dinámico | 19 |
| Pantallas de alto rango dinámico | 19 |
| Las curvas de gamma en captación..... | 22 |
| Corrección de gamma en las pantallas HDR | 24 |
| La norma SMPTE ST-2084..... | 25 |
| La norma Hybrid Log-Gamma (HLG) | 26 |
| Formatos y códecs..... | 30 |
| Submuestreo de color | 30 |
| Compresión | 32 |
| Flujo de transferencia y ancho de banda | 32 |
| Archivos 'raw' y archivos de imagen procesada | 34 |
| Formatos contenedores..... | 34 |
| Clasificación de los códecs | 36 |
| Tabla de códecs de producción 4K..... | 40 |
| Difusión en Ultra HD..... | 41 |
| Captación 4K..... | 46 |
| Sensores de cámara y ópticas | 47 |
| Sensores de cámara y ópticas | 47 |
| Sensores | 47 |
| Ópticas para 4K | 51 |
| Monturas..... | 59 |
| Cámaras..... | 60 |
| Arri, un estándar para cinematografía digital | 63 |
| Red, pioneros del 4K | 64 |
| Sony, cámaras 4K para toda la gama del mercado | 65 |



| | |
|--|-----|
| Cámaras 4K de Panasonic..... | 69 |
| Cámaras 4K de Canon..... | 72 |
| Blackmagic, cinematografía digital de bajo presupuesto | 74 |
| Otras cámaras 4K | 76 |
| Tabla de cámaras 4K..... | 78 |
| Tarjetas de memoria y grabadores externos | 79 |
| Postproducción | 82 |
| ‘Hardware’ para la postproducción 4K..... | 82 |
| Equipo informático, ¿PC o Mac? | 83 |
| Procesadores y tarjetas gráficas GPU..... | 85 |
| Sistemas de almacenamiento: RAID y discos SSD | 87 |
| Tarjetas de captura y reproducción: ‘I/O Box’ | 89 |
| Conexionado | 91 |
| Monitores..... | 94 |
| ‘Software’ para la postproducción 4K..... | 98 |
| Programas de edición de vídeo | 99 |
| Programas de composición y efectos visuales (VFX) | 101 |
| Programas de 3D (CGI) | 104 |
| Procesos finales y corrección de color | 105 |
| Sonido para UHD y 4K | 108 |
| Frecuencia de muestreo (<i>Sample Rate</i>) y profundidad de bits (<i>Bit Depth</i>) | 108 |
| Compresión dinámica / compresión de datos | 112 |
| Rango dinámico y sonoridad..... | 113 |
| Códexs para sonido envolvente | 115 |
| Códexs para sonido multicanal | 115 |
| Los inicios del audio digital para cine..... | 117 |
| Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos | 119 |
| Sonido para salas de exhibición de cine..... | 125 |
| Códexs Sonido para televisión en UHD y Blu-ray..... | 126 |
| Códexs de sonido para difusión por internet..... | 129 |
| Conclusiones sobre audio y ultra alta definición | 130 |
| Almacenamiento y archivo..... | 133 |
| Conclusiones sobre la migración a la televisión Ultra HD y al cine 4K..... | 135 |



Presentación

Todos los días, como profesionales y estudiantes del audiovisual, nos encontramos términos, conceptos, tecnologías y siglas que nos pueden hacer dudar. Es difícil entender cuáles son las implicaciones reales que todo ello tiene en nuestro trabajo y qué relaciones se establecen entre unas cosas y las otras. Con este libro electrónico nos hemos propuesto trazar un panorama actualizado de la tecnología de producción en ultra alta definición (Ultra HD o UHD) y las bases en las que se sustenta.

Ultra HD es un nuevo estándar para la imagen digital en movimiento. Las organizaciones internacionales de normalización están todavía trabajando en su desarrollo. En una primera fase, se ha propuesto trabajar con una resolución de imagen de 4K, pero aún no se sabe hasta dónde nos llevará esta senda que afecta a las industrias del cine, la televisión y el vídeo. ¿Es un cambio de paradigma o simplemente una suave evolución? ¿Está madura la tecnología para este cambio? ¿Existe realmente una demanda de los usuarios?

Además, en los últimos años una nueva tecnología ha venido a compartir el concepto de 4K: el HDR o alto rango dinámico, generando no ya “más píxeles” sino “mejores píxeles”. Intentaremos arrojar algo de luz sobre esta cuestión también.

Hemos tratado de poner en claro algunas de estas cuestiones y entender lo que supone el 4K y el HDR para las cámaras, los sistemas de postproducción y la difusión o archivo de los contenidos. Pretendemos clarificar algunas ideas que puedan ayudar a rellenar lagunas de conocimientos que dificultan la comprensión global del escenario, y desde esa perspectiva hemos redactado estas páginas.

Comenzaremos este análisis exponiendo una serie de conceptos básicos y necesarios para entender el potencial y las limitaciones de la ultra alta definición a día de hoy. A continuación, describiremos los distintos formatos y códecs que se están utilizando en la industria audiovisual y sus características técnicas. Se han considerado como entornos de difusión: el cine digital, la televisión, la distribución de contenidos por internet y los discos Blu-ray. Otros apartados se dedicarán a las herramientas para la captación: cámaras, sensores, ópticas y sistemas de grabación; a los sistemas de postproducción, considerando tanto el *hardware* como el *software*; a las mejoras en el sonido que deben de acompañar al incremento de la calidad visual; y por último, a los sistemas de almacenamiento y archivo.

Hemos incorporado tablas, vínculos y referencias para que este trabajo pueda ser utilizado como punto de partida para otras investigaciones o para consulta.

Esta ‘Guía 4K HDR Contraluz’ es una iniciativa que surge de forma espontánea como soporte para nuestra actividad profesional y docente. Es un proyecto completamente independiente y abierto a la participación de otros profesionales que tengan interés en contribuir con sus aportaciones y que se encuentra vinculado a [709 MediaRoom](#), un lugar de encuentro para profesionales de la producción audiovisual. La intención no es hacer un documento exhaustivo, sino una herramienta de trabajo que se actualice dinámicamente con la retroalimentación y la participación activa de todos cuantos formamos parte de esta red.



Queremos expresar aquí nuestro agradecimiento y reconocimiento a los colegas y amigos que nos han transmitido generosamente sus conocimientos, algunos de los cuales han participado directamente en la creación de contenidos:

- [Damián Ruiz Coll](#), investigador de la Universidad 'Rey Juan Carlos, especializado en ultra alta definición.
- [Julio Gómez](#), consultor independiente, formador y *betatester*. Experto en cámaras de cine y ópticas.
- [Rafa Roche](#), director de fotografía y formador.
- [Daniel Pérez](#), cofundador de WhyOnSet.
- [Pol Turrents](#), director de fotografía y miembro de AEC.
- [Fernando Alfonsín](#), postproductor especializado en cine digital.
- [Fernando Muro](#), Sony Broadcast.
- [Sergio Márquez](#), de Nómada Media

En muchas ocasiones hemos tenido que sintetizar sus explicaciones, simplificándolas con intención didáctica, para facilitar la lectura y la comprensión de los conceptos técnicos.

También queremos transmitir nuestro agradecimiento a las empresas con las que colaboramos y que nos han ayudado a realizar las pruebas técnicas de esta nueva edición de la Guía 4K HDR:

- [Tangram Solutions](#), Soluciones Audiovisuales Completas
- [WhyOnSet](#), DIT Station / Mobile Datalab
- [Canon España](#)
- [Azken Muga](#), Servers & Workstations Graphics Solutions



Los cinco pilares de la Ultra HD

En sí mismo 4K no significa mucho. Hace referencia al número de píxeles que componen el fotograma, pero hay una serie de factores relacionados que intervienen en la cinematografía digital y que serán determinantes para comprender cómo, en torno al concepto de 4K, se están implantando sistemas que incrementan significativamente la calidad técnica de la imagen.

Cuando los fabricantes de teléfonos móviles ofertan dispositivos que graban vídeo en 4K, es obvio que no responden a las mismas especificaciones técnicas que las cámaras de alta gama para producción de cine. ¿Dónde está la diferencia?

[Damián Ruiz Coll](#), experto en procesos de normalización internacional, nos explica que el salto hacia una imagen digital de mayor calidad se sustenta en cinco pilares:

- Aumentar la [resolución espacial](#): más píxeles en cada imagen (4K, 6K u 8K).
- Aumentar la [resolución temporal](#): más fotogramas por segundo (48, 50, 60, 100 o 120 fps).
- Aumentar el [rango dinámico](#): mayor capacidad para captar y reproducir niveles de brillo y matices de color.
- Aumentar la cuantificación ([profundidad de color](#)): número de bits que se emplean para codificar cada uno de los píxeles (10, 12 o 16 bits).
- Aumentar el [espacio de color](#): un gamut de color más amplio.

Para que se produzca el salto cualitativo se tienen que dar estos cinco factores conjuntamente.

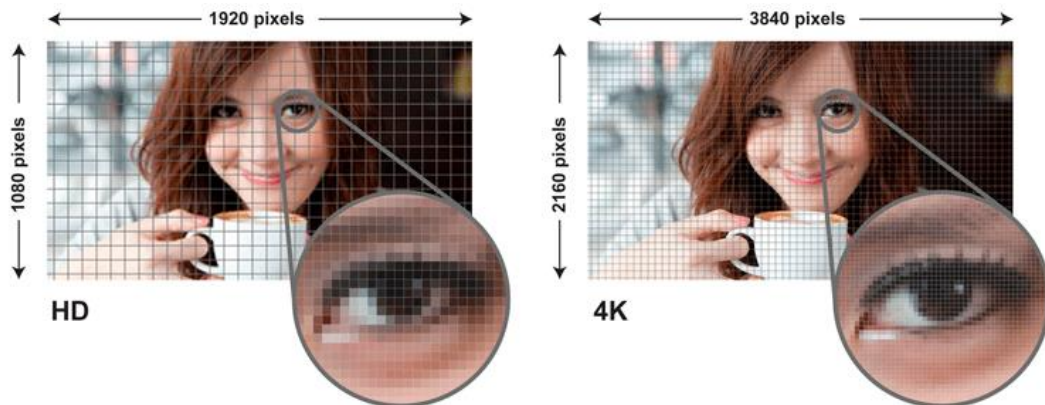


Los cinco pilares de la ultra alta definición.



Resolución espacial

La **resolución espacial** indica las **dimensiones en píxeles de una imagen**, es decir, el número de píxeles que constituyen la altura y la anchura de una imagen. El término 4K, inicialmente utilizado en la industria del cine digital, se emplea ahora para los formatos de cine, televisión o de difusión por internet que utilizan resoluciones espaciales de aproximadamente 4.000 píxeles en sentido horizontal.



El 4K incrementa el número de píxeles que componen las imágenes. Fuente: Redwireinnovation.

Tradicionalmente, la resolución de la televisión se ha medido en líneas. Con el término 4K se produce un cambio de denominación puesto que el 4.000 no hace referencia a las líneas sino a las columnas de la matriz de píxeles que componen la imagen.

El origen del término 4K proviene de los escáneres de cine que se utilizan para digitalizar cada fotograma de una secuencia rodada sobre película fotoquímica. Nace de la búsqueda de la resolución adecuada para poder digitalizar la película cinematográfica preservando la calidad registrada en el material fotoquímico.

Kodak diseñó el sistema Cineon con este propósito. Se utilizó por primera vez en el año 1993 para la restauración digital del clásico de Disney *Blancanieves y los siete enanitos*. La película entera fue escaneada, fotograma a fotograma, en archivos digitales de 4K a 10 bits de profundidad de color y retocada con sistemas informáticos.

A partir de estas primeras experiencias, la resolución 4K se empezó a utilizar habitualmente en postproducción digital de cine y posteriormente se fue concretando también para captación y como evolución de los sistemas de televisión de alta definición.

En la siguiente tabla se pueden ver los valores de resolución espacial y relación de aspecto de los formatos más comunes en cine (DCI) y televisión (BT-2020):

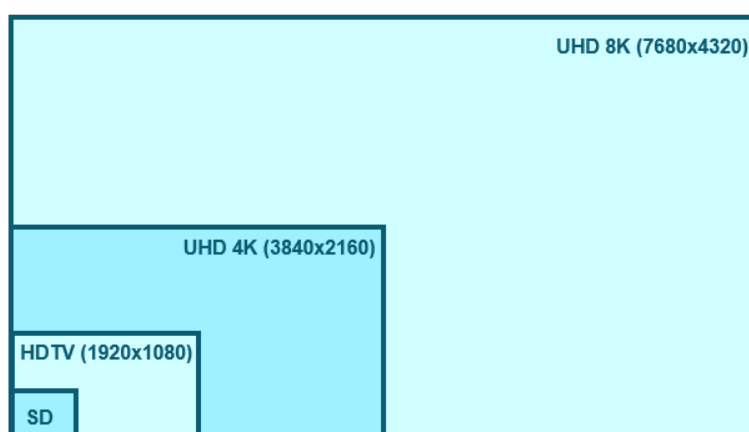


| | Relación de aspecto | Resolución espacial |
|--------------------------------|------------------------|---------------------|
| Cine digital 4K (DCI) | 1,85:1 | 3.996 x 2.160 |
| | 2,39:1 | 4.096 x 1.716 |
| | 1,90:1 (<i>full</i>) | 4.096 x 2.160 |
| Televisión 4K (BT-2020) | 16:9 | 3.840 x 2.160 |

Actualmente se trabaja también con otros formatos con resoluciones superiores que todavía no están tan generalizados, entre los que destacan:

- La mayoría de los fabricantes de cámara de cine digital del alta gama ofrecen la posibilidad de grabar con resoluciones superiores a 4K. Por citar solamente algunos ejemplos, la Arri Alexa 65, la Red Dragon o la Sony Venice.
- Por último, en Japón, de cara a las olimpiadas 2020, la cadena televisiva NHK (Nippon Hoso Kyokai) ha promovido el desarrollo del formato de 8K (7.680 x 4.320) para una relación de aspecto de 16:9. El formato 8K está contemplado en la norma BT-2020 para masterización, aunque, por el momento, sólo está en fase preliminar.

En la siguiente figura se puede ver una representación a escala de la evolución de la resolución espacial, desde la resolución estándar (SD, 720 x 576) hasta la ultra alta definición (UHD, 4K y 8K).



Evolución de la resolución espacial desde la TV de resolución estándar (SD) y de alta definición (HD) hasta los formatos de ultra alta definición (UHD 4K y 8K).

La relación de aspecto expresa la proporción entre el alto y el ancho de la imagen. La televisión adoptó en sus inicios una relación de aspecto de 4:3 (1,33:1) siguiendo la tradición del formato académico del cine. Pero en los años 50, para la producción y exhibición cinematográfica, se desarrollaron los formatos panorámicos consiguiendo así un elemento diferenciador y aumentando la espectacularidad del formato. En los años 2000, aprovechando la migración digital, se implantó mundialmente en televisión el formato de pantalla ancha 16:9 (1,77:1).



En cine y televisión se han utilizado dos formas distintas para indicar la relación de aspecto: en televisión se usa un quebrado, por ejemplo 4:3 o 16:9, mientras que en cine se emplea un decimal en relación a 1, por ejemplo 1,33:1 o 1,77:1.

La normalización establecida para el cine digital DCI es 1,85:1 y 2,39:1 para formatos panorámicos. En televisión, el estándar es el formato 16:9.

A efectos prácticos, conviene destacar que el formato 1,85:1 del cine es prácticamente igual que el 16:9 de la televisión, tan solo con un ligero recorte. Por tanto, la relación de aspecto funciona correctamente tanto en televisión como en cine, simplemente se tiene que aplicar un ligero recorte.

En la siguiente figura se pueden apreciar las diferencias entre estos formatos.

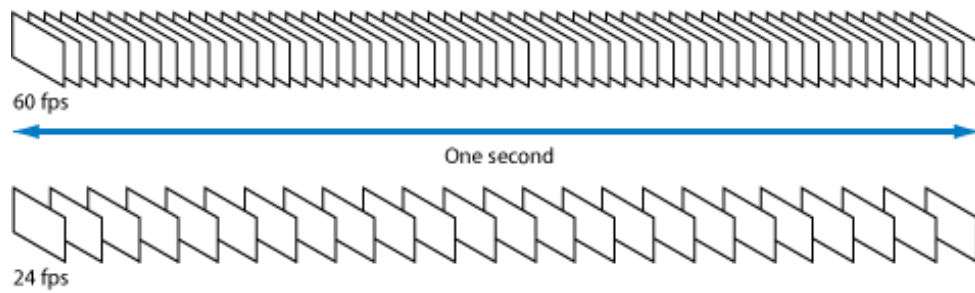


Comparación de las distintas normas de relación de aspecto. Fuente: Red.

Resolución temporal: HFR

Los sistemas de edición de vídeo que se utilizan hoy en día ofrecen mucha flexibilidad a la hora de definir la frecuencia de fotogramas o *frames* por segundo (fps) de una secuencia o un proyecto. En cine, tradicionalmente se ha rodado a 24 fps, en la televisión europea a 25 fps y en Estados Unidos a 30 fps o a 29,97 fps. Las cámaras digitales pueden grabar con cualquiera de estos valores de frecuencia y los sistemas de postproducción ofrecen herramientas para hacer las conversiones que puedan ser necesarias.

Cuanto más fotogramas se tomen de una acción, más información se registrará sobre el movimiento que produce. Por ello, **la frecuencia de fotogramas por segundo (*frame rate*) de una secuencia se denomina resolución temporal (*temporal resolution*).**



Resolución temporal. Fuente: Apple.

El ajuste de la resolución temporal en la cámara también afectará a la definición de los bordes de los objetos en movimiento y al efecto de desenfoque de movimiento (*motion blur*). Un aumento en la frecuencia de captación implica un aumento de la velocidad de obturación en la cámara generando así imágenes más nítidas con un efecto de desenfoque de movimiento reducido.



Efecto de la variación de la velocidad de obturación sobre el desenfoque de movimiento. Fuente: Wikimedia.

Para Ultra HD y para cine digital se han especificado resoluciones temporales superiores que se conocen como **High Frame Rate (HFR)**. Cuando se amplía el tamaño de representación, es decir, para pantallas de mayor tamaño, es conveniente también aumentar el número de fotogramas por segundo para obtener mayor nitidez y reproducir fielmente el movimiento. Las frecuencias de 48 fps o superiores se consideran HFR.

Estéticamente hay una diferencia notable: el desenfoque de movimiento que el espectador está acostumbrado a ver en el cine grabado a 24 fps, resulta artísticamente interesante. La frecuencia HFR produce, a veces, una sensación más fría y más real que puede no agradar a todo el mundo. Pero los gustos del público también evolucionan con la tecnología y la calidad de la representación se está imponiendo.

Cuando el movimiento se percibe con un efecto estroboscópico, con tirones o falta de suavidad, es debido a dos factores: la ausencia de desenfoque de movimiento y una resolución temporal insuficiente. Al contrario, las imágenes grabadas y reproducidas en HFR son más nítidas (por la ausencia de desenfoque de movimiento) y el movimiento es más suave.



También parece que la sensación de parpadeo aumenta cuando el contenido se ha masterizado en alto rango dinámico (HDR.)

La norma BT-2020 contempla, además de los 48 fps, frecuencias de 50 y 60 fps en exploración progresiva. Los proyectores de cine digital, siguiendo la norma DCI, también incluyen la posibilidad de proyectar en las salas de exhibición a 48 fps.

Los nuevos desarrollos para la televisión Ultra HD consideran valores de resolución temporal más altos aún. En las recomendaciones de DVB (Digital Video Broadcasting) y SMPTE (Society of Motion Picture & Television Engineers) está previsto alcanzar los 120 fps. Las cámaras de cine profesional, e incluso alguna de gama inferior, ya ofrecen también la posibilidad de aumentar la resolución temporal.

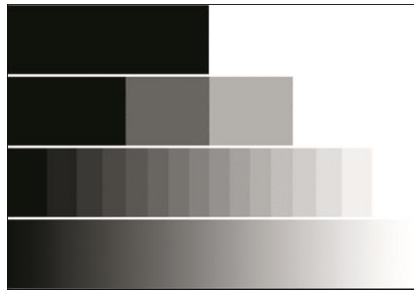
Las frecuencias más habituales en difusión son: 25 fps, 29,97 fps, 24 fps, 23,98 fps y 48 fps. En la siguiente tabla se detallan los contextos donde se usan:

| Frecuencias de fotogramas por segundo más habituales | |
|--|--|
| 25 fps | Es la frecuencia que se usa en la televisión PAL, en Europa y en las regiones del mundo donde la electricidad es de 50 hz. |
| 29,97 fps | Es la frecuencia que se utiliza en la televisión en color NTSC, en Estados Unidos y en las demás regiones del mundo donde la frecuencia eléctrica es de 60 hz. |
| 24 fps | Es la frecuencia que se utiliza tradicionalmente en cine. |
| 23,98 fps | Es la frecuencia que se utiliza en el cine digital para facilitar las conversiones a la frecuencia 29,97 de la televisión en color NTSC. |
| 48 fps | Es un estándar de resolución temporal opcional en la exhibición de cine digital. |

Profundidad de color

Otro indicador fundamental de la calidad de una imagen digital es la **profundidad de color** (*color depth*) o **profundidad de bits** (*bit depth*), que indica la cuantificación de la señal, es decir, cuántos bits se utilizan para describir cada píxel.

Con este dato se expresa cuántos valores distintos de brillo y color están disponibles para codificar la imagen.



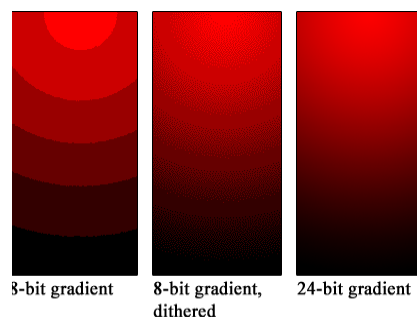
Escala de grises con 1, 2, 4 y 8 bits. Fuente: Johnpaulcaponigro.

La profundidad de color mínima en los equipos profesionales es de 8 bits por cada componente RGB, pero actualmente, ya sea en fotografía, en vídeo o en cine digital, se pueden utilizar 10, 12 o incluso 16 bits para cada canal RGB.

Estos valores permiten aumentar la gama de colores hasta niveles iguales o superiores a los que puede percibir el ojo humano y superiores también a los sistemas de monitorización de los que disponemos en los ordenadores.

Este incremento de la capacidad de codificación de los matices de brillo y color se aprecia en la representación de degradados evitando los artefactos conocidos como *color banding*.

Una condición indispensable para la correcta masterización en HDR es que todo el flujo de trabajo, desde captación a emisión, se realice al menos a 10 bits de profundidad de color.

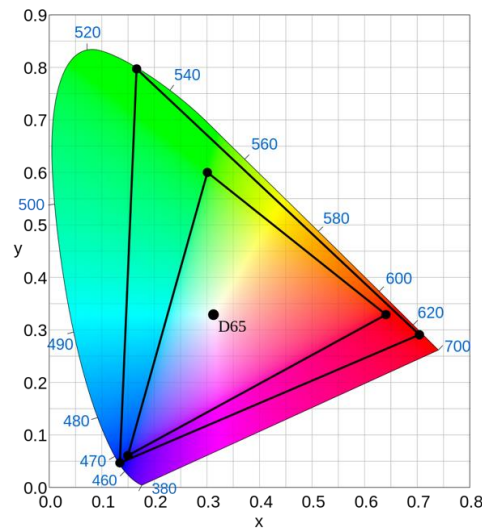


Efecto color banding. Fuente: Wikipedia.

Gamut de color para 4K

Un gamut de color es el conjunto de colores que se pueden utilizar en una determinada norma. El gamut de la norma BT-2020 para Ultra HD es mucho más amplio que el de la norma BT-709 de televisión HD. En la siguiente figura se puede observar un gráfico que representa estos dos gamuts en el sistema de coordenadas CIE-1931¹.

¹ CIE XYZ, es un sistema matemático para definir un color con tres coordenadas (X, Y y Z) creado en 1931 por la Comisión Internationale de l'Éclairage.



Gamut de color de las normas BT-709 y BT-2020. Fuente: Andrew Michael.

El gamut BT-709 corresponde a la norma de televisión HD y es el que se utiliza actualmente en todos los monitores, pantallas de ordenador, televisores y proyectores de vídeo.

El gamut BT-2020 está todavía en una fase inicial experimental y prácticamente no existen monitores en el mercado que trabajen en este espacio de color. Los televisores 4K que se están comercializando utilizan todavía el espacio de color y gamma de BT-709. Para que se generalice el uso del espacio de color BT-2020 habrá que esperar a una nueva generación de pantallas.

Para la proyección de cine digital, DCI ha definido un gamut de color específico: el DCI-P3. **El gamut DCI-P3** no es tan amplio como el de la norma BT-2020, pero es mayor que el de la norma BT-709. Todos los proyectores de cine digital instalados en las salas de exhibición utilizan este espacio de color. Los monitores profesionales y proyectores que se utilizan en postproducción y corrección de color se pueden ajustar a los parámetros de DCI-P3.

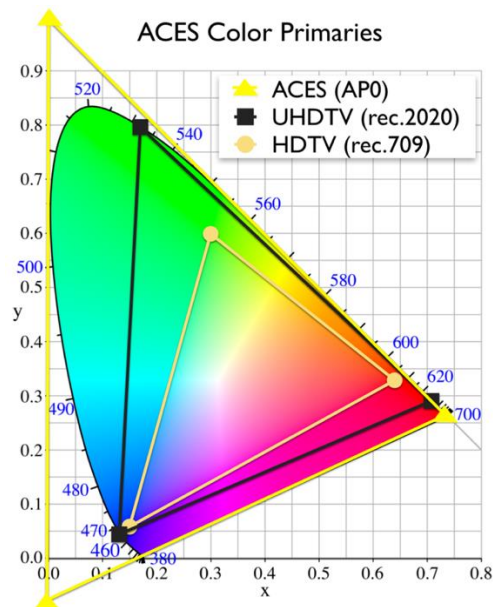
Por lo tanto, a día de hoy, en postproducción 4K se trabaja con dos espacios de color: el de la norma BT-709 para televisión y el de DCI-P3 para cine digital.

Los distintos estándares de HDR también vienen acompañados de un gamut de color ampliado (*Wide Color Gamut*). Dependiendo de la norma se puede masterizar en P3 o BT-2020.

Para asegurar la compatibilidad futura en cuanto al color, se ha definido un nuevo espacio de color más amplio y que ofrece mayor flexibilidad para la codificación del color: el **Academy Color Encoding System (ACES)**. ACES tiene un sistema de coordenadas mucho más amplio que los sistemas anteriores y se postula como el sistema de color que mejor resistirá el paso del tiempo y el ideal para el cine de ficción, la producción de efectos especiales, la masterización y el archivo a largo plazo. La Academia de Cine de Hollywood se ocupa del desarrollo técnico de ACES y por ahora están en la versión ACES 1.0.



La tendencia para hacer una gestión eficiente del color es trabajar la postproducción de los proyectos en ACES. De esta forma se obtiene un máster en ACES a partir del cual se podrán hacer las copias que sean necesarias en BT-2020, DCI-P3 o BT-709.

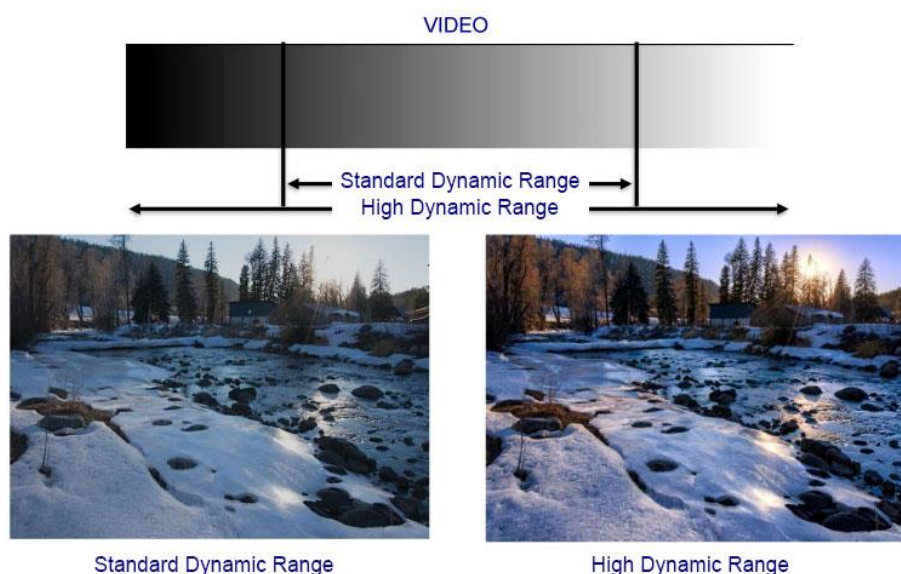


Gamut de color de ACES. Fuente: Nanosys.

Rango dinámico

El rango dinámico de una imagen digital es la capacidad que tiene dicha imagen de representar correctamente el contraste, las altas luces y las sombras profundas.

Las imágenes con alto rango dinámico (*High Dynamic Range*, HDR) tienen más detalle en las altas luces, en las sombras y en los tonos medios. Sus valores máximos de luminancia son más brillantes y los mínimos más oscuros. Con esta tecnología se persigue una nueva experiencia de usuario con una representación en pantalla más cercana a la visión directa de la realidad.



Alto rango dinámico (HDR) y rango dinámico estándar (SDR). (Simulación)

HDR es una tecnología para una nueva generación de monitores y pantallas con mayores prestaciones que las actuales y afecta a toda la cadena de producción y distribución de contenidos audiovisuales. Tiene implicaciones en las cámaras de cine y televisión, en la masterización de los contenidos, en las redes de distribución y, finalmente, en las pantallas donde se presentan las imágenes.

SMPTE (2015: 4) propone una definición para un sistema de alto rango dinámico como aquel que “está especificado y diseñado para capturar, procesar y reproducir una escena, cubriendo todo el rango perceptible de detalle en las sombras y las altas luces, con suficiente precisión y un nivel aceptable de artefactos, incluyendo una separación suficiente entre el blanco difuso y las altas luces especulares”.

La pretensión de la tecnología HDR es que al ver la televisión tengamos una sensación parecida, en términos de contraste, a la que tenemos cuando abrimos una ventana y miramos el mundo real.

Conviene no confundir la tecnología HDR con lo que en fotografía de imágenes fijas se llama también HDR. Una técnica por la cual se mezclan en una sola imagen, distintas exposiciones para conseguir más detalle en las sombras y las altas luces (*Tone Mapping*). El objetivo final es similar pero la técnica es completamente distinta para la televisión y el cine.

“Although it’s using rather different techniques, HDR vídeo is often likened to HDR photography as their aims are similar: to capture and reproduce scenes with a greater dynamic range than traditional technology can, in order to offer a more true-to-life experience. With HDR, more detail is visible in images that would otherwise look either overexposed, showing too little detail in bright areas, or underexposed, showing too little detail in dark areas.” (Geutskens 2016)

Esta técnica de múltiples exposiciones para maximizar el rango dinámico también la implementó Red en sus cámaras de cine bajo el nombre de [HDRx](#).



La tecnología del HDR para televisión está todavía en desarrollo. Su implantación en el mercado requiere un proceso previo de normalización técnica internacional (estandarización) para que los distintos actores de la industria (productores, distribuidores y fabricantes de pantallas) puedan interoperar.

La normalización técnica empieza por los equipos de recepción, es decir, por los monitores profesionales, los televisores y los proyectores de cine. Una vez definido el estándar de los dispositivos de consumo, los fabricantes de cámaras y proveedores de contenido pueden preparar el material HDR y su distribución para una correcta recepción por parte del usuario final.

También conviene señalar que las condiciones de visionado de una sala de cine y de un televisor en un hogar son muy distintas. La sala oscura favorece la representación de las sombras, pero si se aumenta demasiado el brillo de las altas luces, surge un problema con la reflexión de luz en la sala -en las paredes, en el mobiliario y en los rostros de los espectadores- que afecta a la profundidad de los negros.

Actualmente existen distintos estándares y soluciones establecidas por diferentes empresas y aún no se sabe cuál será capaz de imponerse:

- SMPTE publicó en 2014 la norma 'ST-2084', el primer estándar internacional de HDR.
- Las cadenas televisivas BBC y la NHK han propuesto la 'Hibryd Log Gamma (HLG)' que ha sido publicada en 2015 como estándar por ARIB (*Association of Radio Industries and Business*), la agencia japonesa de normalización (ARIB STD-B67).

La Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU) está evaluando estas dos propuestas para ver si definitivamente se opta por una de ellas, aunque lo más probable es que se estandaricen las dos ya que cubren necesidades distintas.

Otras empresas del sector también están aportando sus propias soluciones intentando posicionarse en este nuevo mercado.

- Cabe destacar el sistema de Dolby, Dolby-Vision, pionero del HDR, por ser la primera empresa que ha ofrecido una solución completa que cubre toda la cadena de producción distribución y exhibición de imágenes con alto rango dinámico. El modelo de Dolby, Dolby Perceptual Quantizer (PQ), está recogido en la norma SMPTE ST-2084.
- Otras empresas, como Philips en colaboración con Thomson o la asociación Blu-ray Disc, también han avanzado en este campo.

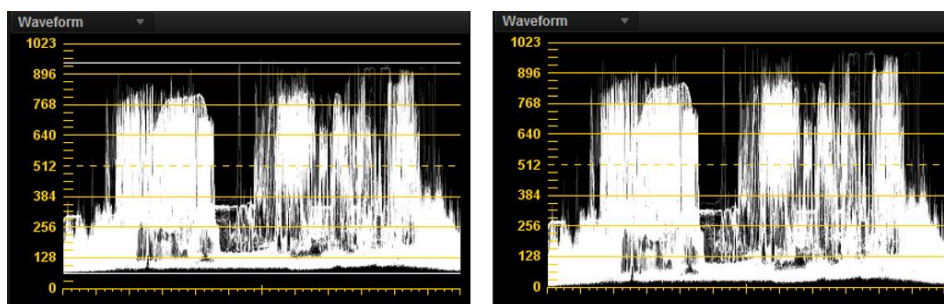
Ajuste de los niveles de brillo: rango legal y rango extendido

Una cuestión importante de los archivos de vídeo es el nivel máximo y mínimo de brillo permitido. Las normas técnicas de radiodifusión televisiva establecen unos niveles determinados para el blanco puro y el negro puro, pero en exhibición de cine digital o en las pantallas de ordenador se utiliza una norma distinta lo que implica modificar los niveles de brillo y contraste del máster en función del uso que se le vaya a dar: cine, televisión o internet.



Para el ajuste de los niveles de brillo en los sistemas de rango dinámico estándar (SDR) existen dos modelos: se denomina rango legal (rango nominal, señal legal o vídeo) a los niveles de señal para la televisión mientras que el material ajustado para cine digital utiliza el rango extendido (señal extendida o data).

Para la codificación a 8 bits de la señal de luminancia se disponen de 256 valores que se corresponden con una gama de grises. En rango legal, el valor máximo permitido que se usa para el blanco puro es 235. El negro puro se sitúa en el valor 16. Cuando se dispone de 10 bits para codificar la señal, el rango total de valores disponibles es de 1.024. En este caso los valores de la señal legal están entre el 940 que se utiliza para el blanco y el 64 para el negro.



Ajustes de una misma imagen a los niveles del rango legal y extendido.

En cine se utiliza el rango completo que nos permite la codificación digital: el rango extendido. Los blancos se sitúan en 255 para la codificación con 8 bits y en 1.023 con 10 bits. En ambos casos los negros se sitúan en 0.

Para la difusión de contenidos por internet no existen este tipo de normas. Las pantallas de ordenador utilizan el rango extendido, que es el empleado cuando se prepara un máster para su difusión por internet.

En la siguiente tabla se resumen los valores utilizados en el rango legal y extendido, tanto para la codificación en 8 bits como en 10 bits.

| | Señal legal / Vídeo | Señal extendida / Data |
|----------------------|---------------------|------------------------|
| | Televisión | Cine digital |
| Codificación 8 bits | 16-235 | 0-255 |
| Codificación 10 bits | 64-940 | 0-1.023 |

Con las nuevas normas de HDR estos valores siguen teniendo vigencia: HLG funciona en emisión en rango legal para ser retrocompatible con BT-709. La norma PQ puede funcionar en legal o extendido.



HDR: Alto Rango dinámico

En este apartado vamos a hacer una breve introducción a estas nuevas [normas de HDR](#) y profundizaremos en tres apartados:

- [Pantallas HDR](#)
- [Las curvas de gamma](#)
- [Corrección de gamma en HDR](#)

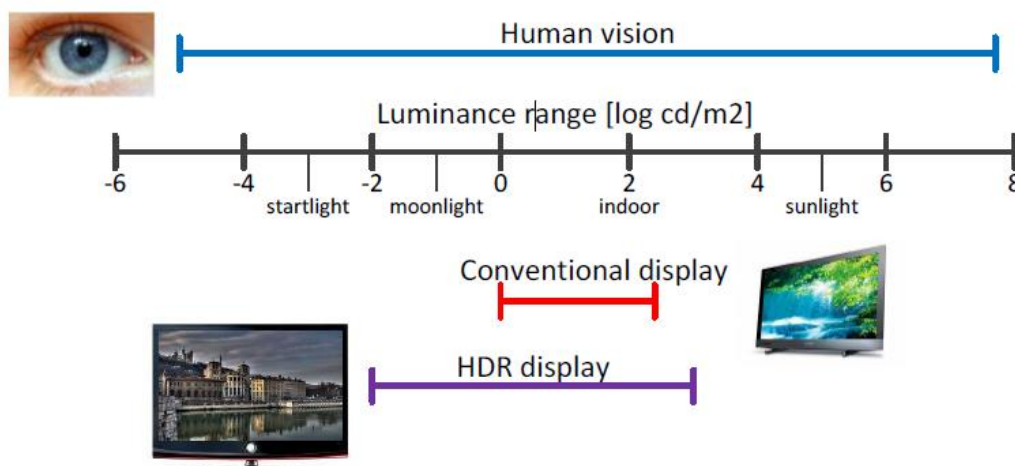
Pantallas de alto rango dinámico

El reto que se plantea con el alto rango dinámico es aumentar el nivel máximo de brillo de las pantallas y a la vez bajar el nivel de negros. Se está avanzando en estas dos direcciones. Las nuevas pantallas de alto rango dinámico (HDR) podrán así presentar imágenes con más detalle en las altas luces y en las sombras profundas. Cuanto mayor sea el rango dinámico de un monitor más capacidad tendrá de presentar detalle en las altas luces.

La unidad que se utiliza para medir el brillo de una pantalla es el nit, o lo que es lo mismo, la candela por metro cuadrado (cd/m^2). En nits se mide el nivel máximo de brillo de una pantalla, que se corresponde con el blanco puro, y el mínimo, que representa el negro.

La ratio de contraste es el valor que expresa la capacidad de una pantalla para la reproducción del contraste, es decir, la división entre el nivel máximo y mínimo de brillo que puede reproducir. Por ejemplo, un televisor cuya capacidad máxima de brillo es de 100 nits y la mínima de 0,1 nits tiene una ratio de contraste de $100/0,1$ es decir de 1.000:1. Este es el estándar actual para los televisores SDR. Si aumentamos el brillo máximo a 400 nits manteniendo el nivel de negro en 0,1 nits, obtendremos una ratio de contraste de 4.000:1. Es decir se ha incrementado la ratio de contraste y, por lo tanto, el rango dinámico.

En el siguiente gráfico podemos comparar la diferencia de capacidad de la visión humana con las pantallas convencionales y las nuevas de alto rango dinámico.



Fuente: Pierre Andrivon. Technicolor.

La visión humana tiene mucha capacidad para ajustarse a los distintos niveles de luminosidad de una escena porque dispone de unos mecanismos muy complejos y eficientes de microadaptación, por lo que resulta muy difícil comparar el ojo humano con una cámara o una pantalla. Peter C. J. Barten, investigador especializado en esta materia, ha propuesto una ‘fórmula’ para evaluar la sensibilidad al contraste del ojo humano que indica una capacidad de percepción de una ratio de contraste de 10.000:1 que se corresponde con unos 15 f-stops de rango dinámico.

Las cámaras de cine tradicionales para película fotoquímica y las nuevas cámaras digitales son perfectamente capaces de captar este rango dinámico. El problema está en que las pantallas y los proyectores digitales han tenido hasta ahora una capacidad muy limitada de contraste y rango dinámico, aproximadamente entre 6 y 9 f-stops, con una ratio de contraste de 1.000:1. Por lo tanto, el centro de atención actualmente está en la fabricación de una nueva generación de pantallas con mayores prestaciones para la representación del contraste.

La idea de producir pantallas de televisión HDR surgió hace unos años cuando los fabricantes empezaron a utilizar los LED (*Light Emitting Diodes*) con mejores respuestas en términos de color y brillo. El desarrollo de pantallas OLED, con ‘semiconductores orgánicos’ y sin necesidad de retroiluminación, ha mejorado aún más estas prestaciones.

Con esta nueva tecnología, los fabricantes han sido capaces de crear pantallas más brillantes manteniendo muy bajos los niveles de las sombras donde el contraste es más amplio. Muchas pantallas HDR son capaces de alcanzar un nivel máximo de brillo de 1.000 nits, pero los estándares prevén para el futuro hasta 10.000 nits. De esta forma, la industria está sentando las bases para un gran paso adelante en la representación de imágenes: el paso de la televisión HD con rango dinámico estándar (SDR, *Standard Dynamic Range*) y un valor máximo de brillo de 100 nits, hacia la Ultra HD con alto rango dinámico.

HDR también podría encontrar su cancha en las pantallas HD, aunque para los fabricantes resulte más rentable vincularlo exclusivamente a las nuevas pantallas de Ultra HD.

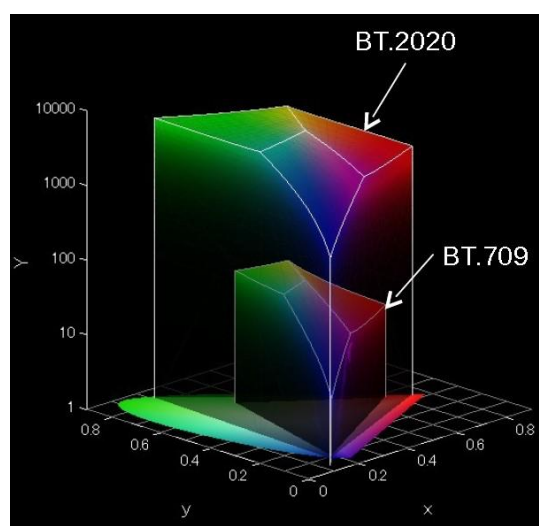


Para el cine en salas se está trabajando con proyectores láser capaces de mantener los negros en niveles muy bajos aumentando la ratio de contraste y el rango dinámico y minimizando el impacto en la luz ambiente.

Samsung también ha presentado pantallas de emisión de luz LED llamadas Onyx de grandes tamaños en vez de la tradicional proyección para una mejora del rango dinámico. La proyección se realiza a unos 100 nits (el estándar de brillo en cine SDR son 48 nits) y las pantallas Onyx pueden emitir hasta unos 500 nits.

Los dos estándares actuales de HDR para cine son Dolby Vision (proyección) y Eclair Color (proyección y Onyx) Está actualmente en borrador un nuevo estándar DCI sin patente que contendría especificaciones para DCPs en HDR.

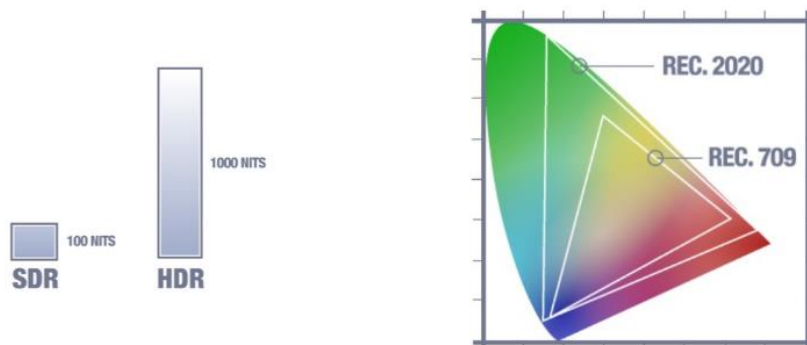
El rango dinámico está también en relación directa con los espacios de color. En el siguiente gráfico se pone en relación el nivel de brillo con la representación de color. Se puede apreciar como el gamut de color ampliado de la norma de Ultra HD (BT-2020), no tiene sentido si no viene acompañado de un incremento del rango dinámico. Para presentar todos los niveles de brillo del color de Ultra HD hace falta un monitor HDR.



Gamut de color BT-2020 y BT-709 puestos en relación con la luminosidad del monitor: BT.2020 (10,000 nits) versus BT.709 (100 nits). Fuente: Sony.

Cabe señalar que estos valores de rango dinámico no se pueden conseguir con una profundidad de color de 8 bit por canal. Son necesarios 10, 12 o 16 bits para registrar toda esta información.

Resumiendo, las imágenes Ultra HD de 'alto rango dinámico' (HDR) contienen mucha más información de brillo y color para cada pixel que las HD con 'rango dinámico estándar' (SDR). Esto afecta no solamente a los valores de luminosidad máxima y mínima sino también al espacio de color.



Fuente: "HDR Survival Guide" (Valentic 2016)

Conviene puntualizar que el propósito del alto rango dinámico no es crear imágenes más brillantes y con más color, sino presentar en la pantalla mayor nivel de detalle sobre todo en las altas luces. Una información que normalmente se pierde al quedar quemada o 'clipeada'. También se persigue conseguir colores más realistas y cercanos a la visión directa de la realidad (*life-like*).

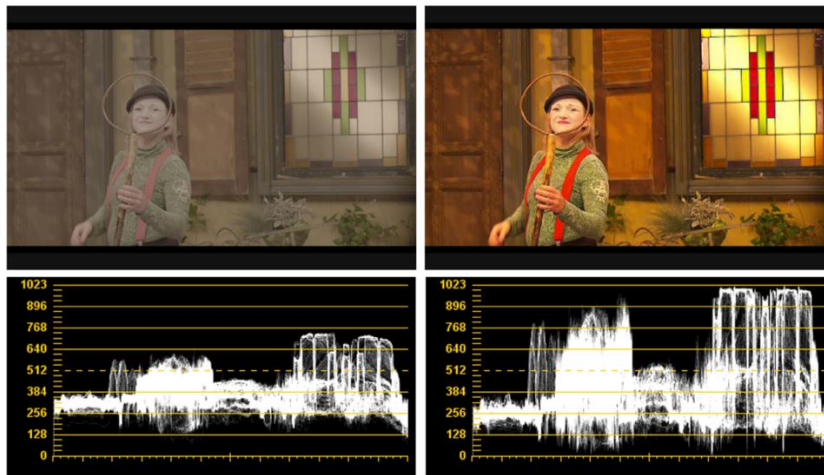
Otra cosa importante a tener en cuenta es que no todas las imágenes requieren estos niveles de rango dinámico. Si la escena que se está representando no tiene ratios de contraste lumínicos muy altos, no será necesario aprovechar toda la capacidad que ofrece un monitor HDR. Se notará la diferencia solo en aquellos planos que lo precisen. Por ejemplo, una escena grabada en interiores con iluminación controlada no necesita el mismo nivel de contraste que un contraluz en exteriores un día soleado.

Las curvas de gamma en captación

Para registrar 14 o 15 f-stop de rango dinámico, las cámaras de cine digital aplican una curva de gamma logarítmica que genera una señal de bajo contraste con un aspecto plano y lavado (si visualizamos dicha imagen en una pantalla con gamma 2,2 ó 2,4). Posteriormente, en postproducción se ajusta el contraste para componer una imagen atractiva, adaptada a los 6-9 f-stops de los monitores actuales de 100 nits. Con este procedimiento se consigue más detalle en las altas luces y las sombras.

No hay un estándar de curva de gamma logarítmica, cada fabricante tiene la suya propia (Arri, Red, Sony, Canon, Panasonic, etc.), aunque todas están más o menos basadas en la curva de CINEON de Kodak. Para ver correctamente estas imágenes en los monitores actuales se hace una conversión -mediante una LUT o un proceso de corrección de color- para adaptar la señal a la norma BT-709. Pero en ese momento, ya estamos en el entorno BT-709, y se han perdido el alto rango dinámico y gamut de color ampliado (Wide Color Gamut, WCG).

En la siguiente imagen se puede observar un plano capturado con una cámara Sony F5 en 4K con curva de gamma logarítmica y el resultado final después de un ajuste del contraste.



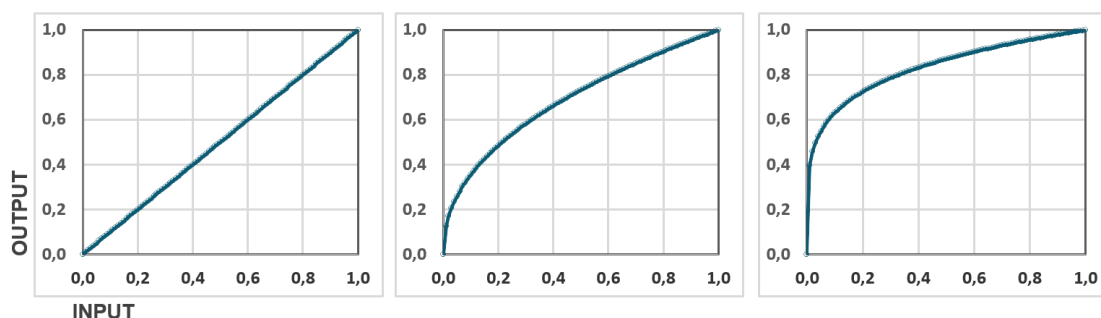
Ajuste de contraste de un plano grabado con la cámara Sony F5 en 4K con curva de gamma logarítmica.

Con las curvas de gamma logarítmicas se obtienen imágenes de mayor calidad ya que se evita quemar las altas luces y empastar las sombras como hacen habitualmente las cámaras que registran con rangos dinámicos inferiores. Pero es necesario un proceso de postproducción y corrección de color hasta alcanzar el aspecto definitivo de las imágenes.

Simplificando un poco las cosas con fines didácticos, consideramos que las cámaras pueden utilizar tres tipos de curvas de gamma:

- **Gamma logarítmica.** Es una curva gamma que optimiza el rango dinámico. Genera una imagen más lavada que requerirá un proceso posterior de corrección de color. Se utiliza en grabación de imágenes de alta calidad: cine, ficción televisiva, publicidad, etc.
- **Gamma corregida.** Es como funciona la gamma BT-709. Genera un contraste adecuado para la visualización final en una pantalla SDR. Se consigue menos rango dinámico pero el material sale de la cámara con un *look* más definitivo. Se utiliza en producciones donde no está prevista la corrección de color en postproducción: televisión de flujo, reportajes informativos, directos, etc.
- **Gamma lineal (1,0).** Recoge directamente la información que genera el sensor. Se utiliza en los formatos *raw* y en flujos de trabajo avanzados como efectos visuales (VFX) o producciones en espacios de color más amplios como ACES.

En la siguiente figura se muestra la forma de estos tres tipos de curva de gamma.



Formas típicas de las curvas de gamma: lineal, corregida y logarítmica.

Cada fabricante de cámaras tiene su propia curva de gamma logarítmica (log) y la correspondiente LUT² para hacer la conversión a BT-709.

Corrección de gamma en las pantallas HDR

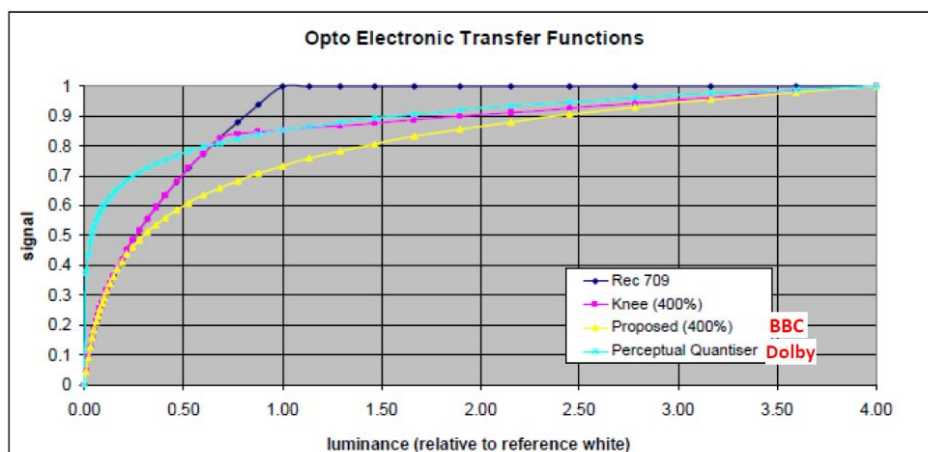
El proceso de corrección de gamma en monitorización se denomina *Electro-Optical Transfer Function* (EOTF) y proviene de los tiempos de los televisores de tubo (CTR). Todas las pantallas actuales siguen las recomendaciones BT-709 y aplican una corrección de gamma de 2,4, un procedimiento con muchas limitaciones que ya no tiene cabida en el mundo Ultra HD y el HDR.

En captación se utiliza una curva inversa, la *Opto-Electronic Transfer Function* (OETF). Las OETF son las curvas de gamma que utilizan los fabricantes de cámara para maximizar el rango dinámico en captación (curvas log) o para generar directamente imágenes procesadas listas para la emisión (curva de gamma estándar BT-709).

| Corrección de gamma en captación y en monitorización | | |
|--|--|---|
| EOTF | <i>Electro-Optical Transfer Function</i> | Corrección de gamma en monitorización. Es una función que asigna un nivel de brillo en el monitor a cada valor de codificación digital. |
| OETF | <i>Opto-Electronic Transfer Function</i> | Curva de gamma que se aplica en la cámara. Es una función que asigna un valor de codificación digital a los distintos niveles de brillo de la escena que la cámara está captando. |

En el siguiente gráfico se pueden comparar las propuestas de OETF que han planteado Dolby (Dolby-Vision) y la BBC (HLG HDR) con la curva BT-709. Se puede observar cómo la curva BT-709 se rompe en las altas luces y como las nuevas propuestas corrigen este problema.

² LUT son las siglas de Look Up Table. Es un archivo que contiene unas fórmulas matemáticas que actúan sobre el color de una imagen. Por ejemplo, se puede utilizar una LUT para convertir una imagen logarítmica a la norma BT-709. También se suelen utilizar para aplicar un 'look' determinado o unos ajustes de corrección de color.



La cuestión que se plantea para las nuevas pantallas HDR es definir una curva estándar EOTF que aproveche toda la capacidad de representación del alto rango dinámico y deje atrás las limitaciones de la norma BT-709. Esta tarea se está abordando en las organizaciones internacionales de normalización técnica como SMPTE, ISO o ITU, entre otras.

La estandarización de una curva EOTF que se integre en todas las pantallas es un paso previo fundamental para la implantación de la tecnología HDR. Todas las pantallas se han de comportar igual independientemente de la marca y el fabricante. De esta forma los proveedores de contenido y los fabricantes de cámaras pueden preparar el material para estos dispositivos.

La norma SMPTE ST-2084

La norma técnica SMPTE ST-2084, por el momento, está ganando la carrera para ser la forma más aceptada para masterizar, distribuir y consumir contenidos en HDR. Muchos fabricantes, como Sony, Panasonic o Samsung, están adoptando esta norma para sus nuevas pantallas HDR.

SMPTE ha adoptado para esta norma una parte de la solución de Doby-Vision, "Dolby Perceptual Quantizer (PQ)", que se ofrece como estándar libre de royalties.

La norma propone un estándar de curva EOFT para pantallas de 10.000 nits que consigue incrementar el detalle en las altas luces. Esto puede apreciarse en la siguiente imagen con los histogramas de una imagen en SDR y HDR. Se ve el 'clipeo' en la señal SDR en el nivel de 100 nits y el detalle en HDR hasta los 10.000 nits.

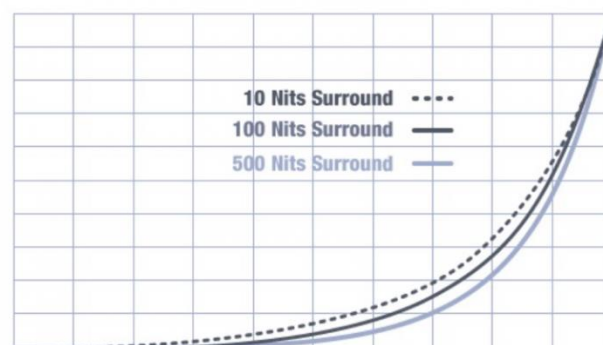


Hybrid Log-Gamma (HLG) (ARIB STD-B67)

La norma Hybrid Log-Gamma (HLG)

Hybrid Log-Gamma (HLG) es un estándar para alto rango dinámico desarrollado conjuntamente por la BBC y la NHK japonesa. Se ha publicado en 2015 en ARIB, la agencia japonesa de normalización técnica (*Association of Radio Industries and Businesses*) (ARIB STD-B67). La HLG tiene en consideración la compatibilidad con las pantallas de rango dinámico estándar (SDR) y no utiliza metadatos.

Propone una curva diferente para los distintos niveles de brillo máximo de las pantallas con un límite recomendado de 5.000 nits. Una cuestión interesante de esta solución es que tiene en consideración la luminosidad ambiental que también afectará a la curva. En el siguiente gráfico se puede ver un ejemplo de cómo la curva cambia en función de los cambios de luz ambiente.



La mayor diferencia que existe entre la EOTF PQ (SMTP-2084, Dolby Vision), y la EOTF-HLG (BBC, NHK) es la necesidad de “adaptación” a los distintos brillos de monitores. ¿Qué significa esto?

Si en una pantalla SDR BT-709 con gamma 2,2 ó 2,4 aumentamos el brillo por encima de los 100 nits (medida de calibración para el estándar Rec709), simplemente veremos la imagen más brillante. En un monitor HDR con la EOTF HLG ocurriría algo similar. Si el monitor es de 1.000



nits, o de 400 nits, o de 10.000 nits la curva EOTF se adaptará y veremos el mismo contenido con más o menos brillo.

Sin embargo, esto no funciona así empleando en los monitores la EOTF PQ, ya que esta utiliza valores “absolutos”: es decir, relaciona cada nivel del brillo del monitor con un valor de la señal en 10 bits.

Pongamos por caso que hemos masterizado un contenido con EOTF PQ empleando un monitor de referencia de 2.000 nits. Eso significa que según la escala de la EOTF PQ el máximo valor de brillo en una escala de 10 bits (de 0 a 1.024) ha de ser 844.

El problema viene cuando ese contenido se presenta en un monitor con la EOTF PQ con un nivel de brillo distinto. Si por ejemplo se muestra en un monitor de 1.000 nits, todos los valores por encima de 767 se verán completamente recortados (clipeados o quemados).

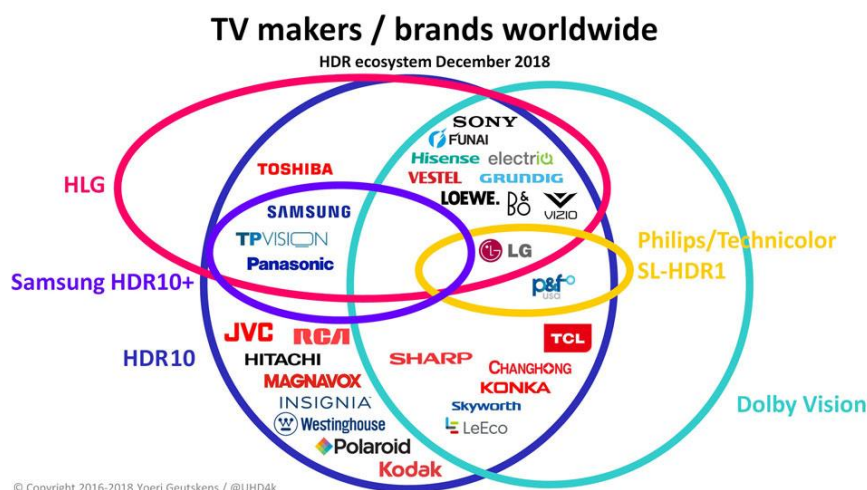
Por tanto, los contenidos generados con curva PQ precisan de una serie de metadatos que acompañen al material (la *media*) y hagan que el vídeo se adapte a los televisores en función de sus distintos niveles de brillo.

En esta “guerra de metadatos” el sistema más cerrado es el de Dolby, que generan los suyos propios, previo pago de una licencia Dolby, y sólo son entendidos en los televisores certificadas Dolby Vision. Dichos metadatos son llamados “dinámicos” al contener los cambios pertinentes de contraste plano por plano. Estos metadatos se encuentran recogidos en el estándar SMPTE-2094 10.

En el otro extremo se encuentran los metadatos de la norma SMPTE-2086, propuestos como complemento del estándar SMPTE-2084. Dichos metadatos son libres para que cualquier televisor sea capaz de entenderlos, pero son “estáticos”. Sólo contienen la transformación para el contenido completo, no plano a plano. Estos metadatos son los empleados en el estándar denominado HDR10.

Actualmente se encuentran en desarrollo diversos otros estándares de metadatos dinámicos con carácter más o menos comercial, como el SMPTE-2094 40 empleado en HDR10+ de Amazon y Samsung o los empleados por Phillips y Technicolor (SMPTE-2094 20 y 30 respectivamente).

Actualmente la “guerra de los metadatos” mostraría este escenario en las distintas marcas de televisores:



Fuente: Yoeri Geutskens flatpanelshd

Algunos de los programas que generan estos metadatos son Clipster, Mist o Colorfront Transkoder.



Colorfront Transkoder en una estación de trabajo HP Z840

Como profesionales de la creación de imágenes la pregunta que nos surge es cómo será la aceptación que tendrán estas nuevas imágenes en los públicos del cine y la televisión. Estamos ante 'lo nunca visto'. El cine, la televisión, la fotografía, la pintura, etc. han creado los cánones estéticos vigentes en nuestra cultura. El aumento de las ratios de contraste de la representación puede suponer un cambio de paradigma desde la perspectiva de la creación artística. No es un reto sencillo para directores de fotografía y coloristas.

Las primeras experiencias que hemos tenido con el monitor de masterización HDR de Canon es que unos brillos sutiles en el rostro de un personaje se pueden convertir en un defecto grave difícil de corregir en una pantalla HDR más brillante. También es cierto que los planos generales exteriores con detalle en las altas luces darán unas imágenes magníficas. Además, el tratamiento



de las sombras y los detalles de los tonos medios son muy interesantes. En este sentido se pronuncia el colorista Dado Valentic entusiasta de esta nueva tecnología:

*“It is refreshing to see that HDR is one of those technologies and innovations that won’t require any heavy marketing for it to be accepted by the end user. Once you glance at an HDR TV screen you won’t need any convincing – images look much better, fresher, and more exciting. If 3D was interesting for its novelty and the 4K advantages were not visible to all, it is clear to see that HDR is not going to fall into any of these two categories.”
(Valentic 2016)*

Será necesario también un proceso de adaptación del público, acostumbrado tradicionalmente a las limitaciones del SDR que se va a encontrar con nuevas imágenes ‘distintas’ a las que se han producido con anterioridad y que no tienen por qué agradarle desde el primer momento.



Formatos y códecs

Una de las cuestiones que comúnmente se plantean en el ámbito audiovisual es si son necesarios códecs específicos para trabajar en 4K o HDR.

A decir verdad, la respuesta es abierta ya que, aunque muchos parámetros de la codificación son independientes de la resolución espacial o del rango dinámico, otros como la profundidad de bit sí son necesarios a la hora de una codificación en HDR.

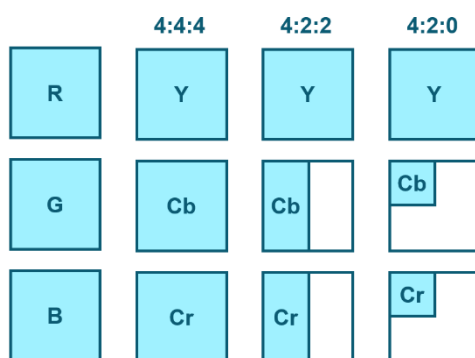
El término códec, abreviatura de ‘codificador’ y ‘descodificador’, es una especificación que se ocupa de la conversión de una señal de vídeo o audio en datos digitales. La información resultante se guarda en un ‘formato’ y se utilizará para la difusión o almacenamiento de esa señal. El dispositivo receptor deberá conocer el códec para poder descodificarlo y presentar las imágenes o los sonidos.

En esta sección vamos a repasar en primer lugar unas cuestiones básicas de la codificación de vídeo, como el [submuestreo de color](#), la [compresión](#) y el [flujo de transferencia](#), conceptos todos ellos imprescindibles para hacer una aproximación a los formatos y códecs 4K HDR. A continuación, se presentan las diferencias entre los [archivos raw y los de imagen procesada](#) y se definen los [formatos contenedores](#). Por último, se propone una clasificación de los formatos y [códecs](#) más utilizados en los entornos profesionales de producción y difusión. Es una clasificación más bien teórica y con finalidad docente, puesto que, en la práctica, las opciones de exportación que ofrecen los sistemas de captación y postproducción son una lista infinita de variables que se combinan de todas las formas posibles. Cuando se trabaja con los estándares de alta calidad de producción profesional, la lista de formatos válidos es más reducida. Hemos elaborado una [tabla](#) con las características técnicas de los formatos más habituales en la profesión que se puede descargar en [709MediaRoom](#), en la sección ‘descargas’. Es necesario tener una cuenta de usuario para acceder a esta sección, pero es gratuito y libre de publicidad.

Submuestreo de color

El submuestreo de color (*Chroma Subsampling*) es un tratamiento consistente en reducir el número de píxeles que se codifican en las componentes de color reduciendo la información del mismo. Esta estrategia aprovecha que la visión humana es más sensible al brillo que al color. Así, se conserva toda la resolución de la imagen en blanco y negro (brillo) y se elimina información de color, manteniendo la sensación de calidad.

En una señal 4:4:4 ‘Y, Cb, Cr’ no hay submuestreo de color y, por lo tanto, se trata de una señal por componentes equivalente en calidad a RGB. El submuestreo 4:2:2 reduce a la mitad la resolución espacial de las componentes de color (Cb y Cr), preservando la señal de luminancia (Y). El 4:2:0 reduce la resolución del color a una cuarta parte.



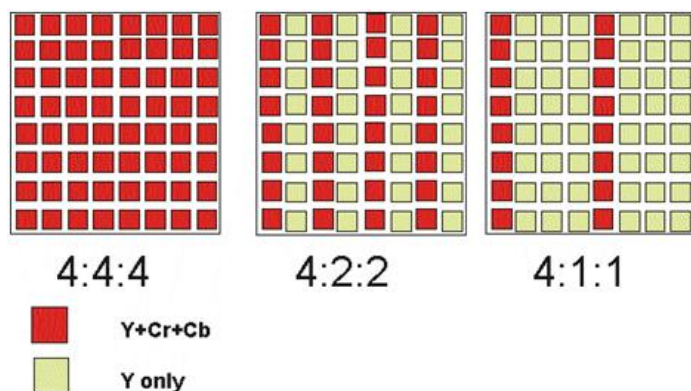
Submuestreo de color 4:4:4, 4:2:2 y 4:2:0.

En flujos de trabajo de alta calidad y para la postproducción, lo mejor es trabajar en 4:4:4, es decir, sin submuestreo de color. En algunos contextos profesionales se utiliza el submuestreo 4:2:2, también conocido como ‘calidad de estudio’ o ‘calidad *broadcast*’. Para el vídeo doméstico, semi-profesional (*prosumer*) y para la difusión, lo habitual es utilizar submuestreo 4:2:0.

El submuestreo de color también entra en juego en 4K. Una señal con submuestreo 4:2:0, por mucho que sea 4K, no tendrá los mismos niveles de calidad que con 4:2:2 o 4:4:4. Estará por debajo de los estándares profesionales de la producción de cine o televisión. Los requisitos de almacenamiento y transmisión serán muy inferiores, pero también la calidad de la imagen resultante.

Sin embargo, con las imágenes de alta calidad, es decir, de 4K con 10 bits de profundidad de color, en 4:4:4, el tamaño de los archivos es gigantesco y el simple proceso de descargar el material a un disco duro o realizar una copia puede resultar una ardua tarea que demande mucho tiempo. Un minuto de material puede ocupar 1,27 GB. Será necesario por lo tanto prestar atención a la capacidad de transferencia de las distintas conexiones y cableados, así como a la velocidad de lectura y escritura de los discos duros que se estén utilizando.

Los sistemas de codificación tienen que encontrar un equilibrio entre la calidad de la imagen y el tamaño del archivo que se genera. Dependiendo del segmento de mercado a los que se dirijan los equipos (profesional o doméstico) se aplicarán distintas estrategias tecnológicas.



En una señal 4:4:4 todos los píxeles llevan información de color. Fuente: Alanxelsys.



Compresión

La compresión implica una determinada forma de codificar la información que posteriormente tendrá que ser decodificada por el equipo de recepción. Cuando se codifica con una compresión con pérdidas (*lossy*) se elimina parte de la información que tendrá que ser reconstruida por el receptor.

Se diferencian dos tipos de compresión:

- La compresión espacial: es la que elimina la redundancia en el interior del espacio de una imagen (compresión intracuadro).
- La compresión temporal: opera sobre el flujo redundante temporal de un grupo de fotogramas (compresión intercuadro).

La compresión espacial trabaja únicamente con un fotograma (*frame*) basándose en la redundancia o la similitud de los píxeles vecinos en la imagen, llamados bloques o macrobloques, por ello se denomina también compresión intracuadro (*intraframe*) y se utiliza en los entornos de producción. Un ejemplo muy conocido de compresión espacial es JPG, que se utiliza de forma muy generalizada en fotografía y vídeo. Los códecs de vídeo DV, JPEG 2000 o los de la familia ProRes, entre otros muchos, utilizan la compresión intracuadro.

La compresión temporal compara la información de cuadros sucesivos para encontrar similitudes que se puedan expresar de forma más eficiente. Se denomina intercuadro (*interframe*) precisamente porque opera en una secuencia de imágenes en movimiento.

La compresión temporal funciona con paquetes de *frames GOP (Group Of Pictures)* que se codifican conjuntamente. Solo se guarda la información no redundante con respecto al primer fotograma del grupo que se establece como referencia.

Este tipo de compresión se utiliza habitualmente en difusión y es muy eficiente para la transmisión de vídeo, pero problemática para la edición puesto que no existe una descripción completa de cada uno de los cuadros que componen la secuencia. Los ejemplos más conocidos de compresión temporal son MPEG, MPEG4 (H264) y HEVC (H265).

Flujo de transferencia y ancho de banda

El flujo de transferencia binaria o tasa de transferencia (*bit rate*) indica el número de bits que se transmiten por segundo. Se puede expresar en bits por segundo (*bits per second*; bit/s) o en Bytes por segundo (B/s). Un bit es la unidad mínima de información digital. Un Byte son ocho bits. Se suele utilizar la unidad bit cuando la transmisión se produce en serie, es decir, en fila uno detrás de otro, y Bytes cuando la transmisión se hace con ocho bits en paralelo.

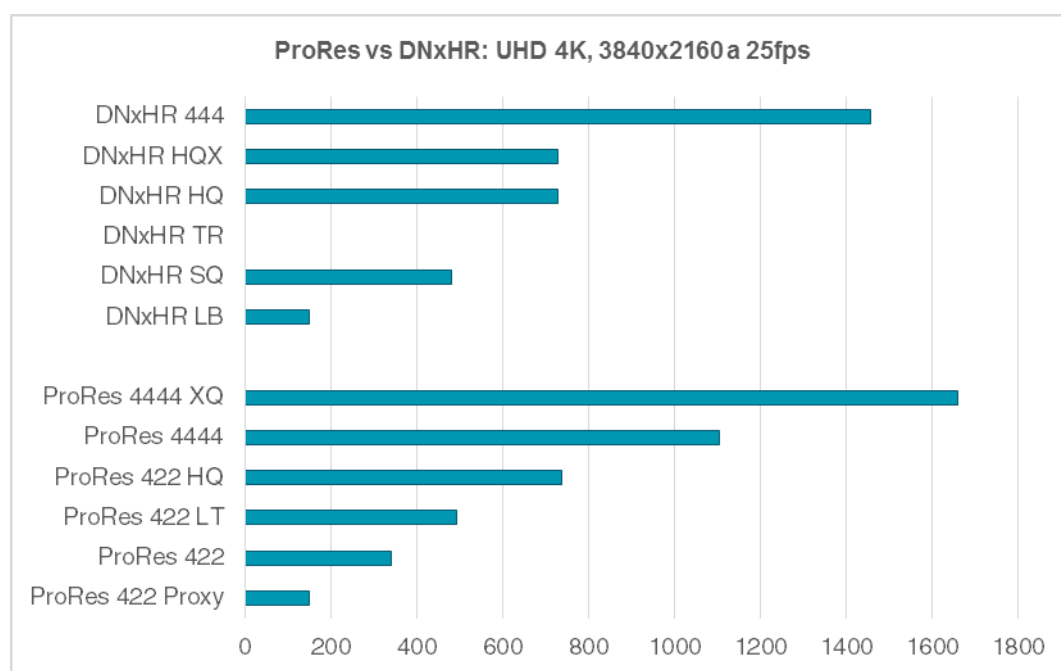
Cuanto mayor sea la resolución espacial, la profundidad de color y la resolución temporal, mayor será la cantidad de información (bits) a transmitir para poder reproducir el vídeo en tiempo real. Es decir, cuanto más calidad tenga el formato de vídeo, mayor será el flujo de transferencia que genera.



En radiodifusión se emplea el término análogo, ‘ancho de banda’, para referirse al espacio radioeléctrico necesario para transmitir la señal.

Con el fin de reducir el flujo de transferencia de las señales, y por lo tanto el ancho de banda para la transmisión, se utiliza el submuestreo de color y los sistemas de compresión.

Todos estos valores quedan reflejados en el formato de archivo y el códec que se utilice. A modo de ejemplo, en la siguiente figura se pueden ver las tasas de transferencia en Mbit/s que generan los distintos códecs ProRes y DNxHR para una resolución de 3.840 x 2.160 a 25 fps.



Flujo de transferencia en Mbit/s generado por los archivos 4K, 3.840 x 2.160 a 25 fps en los distintos niveles de calidad que ofrecen los códecs ProRes y DNxHR. Fuente: 709 MediaRoom a partir de los datos de ProRes White Paper (2017, pág. 22) y Avid® High-Resolution Workflows Guide (2016, pág. 111).

Una de las mayores complicaciones del 4K está en el tamaño de los archivos y el flujo de transferencia que genera su reproducción. Anecdóticamente podemos señalar que un disco duro externo conectado por USB 2.0 encuentra su límite de capacidad en los 280 Mbit/s. Solo es capaz de reproducir un vídeo 4K con los códecs más bajos de ProRes o DNxHR, los que se utilizan para edición *offline*: ProRes Proxy y DNxHR LB. Los códecs más altos requieren un equipo con mucha capacidad, discos duros muy rápidos y el conexionado adecuado para soportar esas tasas de transferencia.

Las cámaras ligeras 4K de la electrónica de consumo utilizan todos los recursos posibles para reducir el flujo de transferencia: profundidad de color a 8 bits, submuestreo de color 4:2:0 y agresivas técnicas de compresión con pérdidas que afectan gravemente a la calidad de las imágenes. De esta forma se consigue que el material se pueda almacenar en tarjetas SD de bajo costo que no soportarían flujos de transferencia superiores.



También en el ámbito profesional se intentan optimizar las tasas de transferencia. Se trabaja con códecs de alta calidad, pero con una ligera compresión, como DNxHR o XAVC de Sony, porque si no, el volumen de datos sería inabarcable.

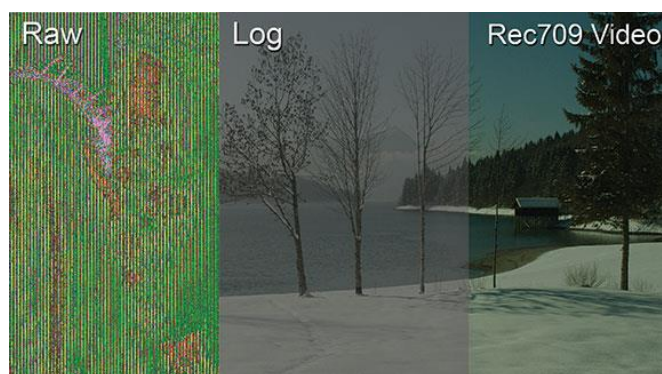
Archivos 'raw' y archivos de imagen procesada

Los archivos *raw* contienen toda la información en bruto que ha captado el sensor de la cámara. No se pueden ver de forma inmediata porque les falta el procesamiento de la imagen. A esta operación de procesamiento de la imagen en postproducción se le llama revelado *raw*. Continuando con la analogía con el fotoquímico, se puede decir que el fichero *raw* contiene una 'imagen latente' y cuando no se graba en *raw* se dice que se graban 'imágenes procesadas'.

Cada fabricante de cámaras de cine digital tiene su propio formato *raw*: ArriRaw, SonyRaw, CanonRaw, RedCodeRaw, Cinema DNG, etc. Y no todos funcionan igual. Cada uno de estos formatos permite, en mayor o menor medida, modificar en postproducción parámetros básicos, como la ganancia (ISO), la curva de gamma, el gamut o el balance de blancos.

Los archivos de imagen procesada, a diferencia de los formatos *raw*, tienen estos parámetros definidos directamente desde la cámara y no se pueden modificar. Para modificar el contraste o el equilibrio de color será necesario hacer una nueva codificación, es decir, generar un nuevo archivo de media (clip o *media file*).

La diferencia fundamental es que los cambios que se realizan en *raw* son a nivel de metadatos. Con los códecs de imagen procesada estos parámetros vienen ya definidos desde la cámara y consolidados en la imagen.



Tres fases de procesamiento de una imagen: raw, procesada con curva de gamma logarítmica y procesada con curva de gamma Rec.709. Fuente: Abelfine.

Formatos contenedores

Un archivo audiovisual puede tener varios audios, varios vídeos y una cantidad variable de metadatos. Todo este conjunto de componentes se compila en formatos contenedores (*container formats*).

Empaquetadas en el formato contenedor están las componentes de vídeo y audio. Cada una de estas componentes está codificada mediante un códec. Resumiendo, un archivo de vídeo tiene



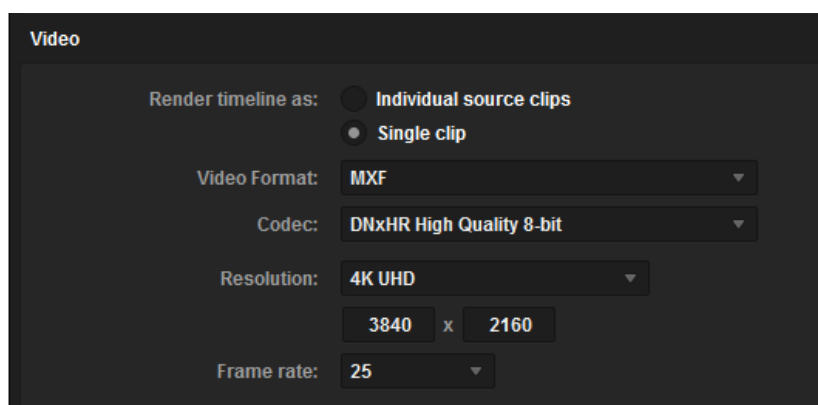
un formato contenedor y un códec, y dentro de un formato contenedor puede haber distintos códecs.



El formato contenedor encapsula en un solo archivo el vídeo, el audio y los metadatos.

Como ejemplos de formatos contenedores muy conocidos se pueden citar: AVI, que es el contenedor estándar de los equipos de Microsoft; MOV, el de los ordenadores de Apple, y MP4 que es el contenedor genérico que se utiliza para los archivos codificados en MPEG-4.

En entornos profesionales de producción se utiliza frecuentemente el formato contenedor MXF (*Material Exchange Format*); también se utiliza mucho MOV, por ejemplo, para entrega a cliente. Apple ha admitido recientemente el formato MXF para Final Cut Pro. Este movimiento indica que MXF va a quedar como el formato preferente para producción. La dificultad que tiene MOV es que da problemas frecuentemente con la gamma. La ventaja de MXF es la potencia que ofrece en los metadatos. Los fabricantes de cámaras de cine prefieren MXF que además ofrece mayor estabilidad para postproducción.



Menú de exportación en DaVinci Resolve con desplegaables para seleccionar el formato contenedor (MXF) y el códec (DNxHR).

Los archivos para la proyección de cine digital DCI también van encapsulados en MXF.

En difusión, sobre todo para *streaming*, se utiliza mucho MP4 como formato contenedor.



En radiodifusión televisiva no se utilizan formatos contenedores. Este concepto se transforma en formatos de flujo de transporte de la señal (*Transport Stream*). En todo el mundo está aceptado el uso del formato *Transport Stream* (TS) de MPEG2 System.

Clasificación de los códecs

Existen muchos códecs para los archivos de vídeo 4K que ofrecen distintos niveles de calidad para la producción y difusión de televisión y cine digital. A efectos didácticos los podemos clasificar en cuatro grupos:

- Códecs nativos de cámara
- Códecs de intermediación o de postproducción
- Códecs de masterización y archivo
- Códecs de difusión

Pero estos grupos no son estancos, puesto que hay cámaras que ofrecen la posibilidad de grabar con códecs que pertenecerían tanto al apartado de postproducción (por ejemplo, Apple ProRes) como al de difusión (por ejemplo, H.264). Lo mismo ocurre con los sistemas de edición y postproducción que pueden trabajar con cualquier códec.

Códecs nativos de cámara

Cada fabricante de cámaras ofrece su propia gama de códecs disponibles para la grabación.

Las cámaras Arri pueden grabar en ArriRaw, o también en los códecs de imagen procesada Apple ProRes y Avid DNxHR.

Sony tiene su propio formato *raw*, SonyRaw, para las cámaras de cine digital y utiliza XAVC para el mercado profesional de la televisión, un formato de grabación específicamente desarrollado para 4K a 8/10/12 bits, con muestreo de color 4:4:4/4:2:2/4:2:0 y empaquetado en MXF. En la gama 4K de consumo utiliza Sony XAVC S que graba en 4:2:0 y con compresión H.264.

Las cámaras Red utilizan para *raw* un formato propio, el Redcode Raw y también permiten la grabación en Apple ProRes y Avid DNxHR.

La gama más alta de producto de Canon también tiene su códec *raw*, el CanonRaw. En equipos más económicos, como la cámara Canon EOS 1D C, utilizan el códec Motion JPEG en 4K con algo de compresión.

Las cámaras de Blackmagic utilizan el códec *raw* CinemaDNG 4K y también permiten grabar en las distintas calidades de la familia Apple ProRes o Avid DNxHR.

Las cámaras que no están dirigidas al mercado profesional utilizan códecs con fuerte compresión H.264 y submuestreo de color 4:2:0.



Códecs de intermediación o de postproducción

Los códecs de intermediación se emplean en postproducción de alta calidad para el montaje *online* y para la corrección de color. Tratan de mantener la calidad de las imágenes originales con una compresión mínima y procurando que el peso final de los archivos no sea muy alto.

También se emplean códecs de intermediación para el montaje *offline*, creación de *dailies* de visionado, etc. Normalmente estos van asociados a niveles mayores de compresión y menor peso de archivo.

Existen muchos códecs de intermediación, aunque los más utilizados para 4K son los ProRes de Apple y los DNxHR de Avid.



Avid DNxHR vs Apple ProRes. Fuente: [@jesus_edits](#)

Códecs de masterización y archivo

Una vez terminada la postproducción se utilizará un códec de máxima calidad para archivar el material. En este momento de la cadena de producción, el espacio que ocupe el fichero ya no es tan relevante, por lo tanto, se utilizarán códecs sin compresión o con compresión sin pérdidas, especialmente en cine digital. Es habitual utilizar secuencias de imágenes fijas, es decir, una imagen fija independiente para cada fotograma. La ventaja de este sistema es que si, por algún motivo, se corrompe un fichero, el resto de los fotogramas quedan intactos. Ofrece también cierta garantía de que el formato no quedará anticuado o descatalogado con el paso del tiempo. El inconveniente de estos formatos de archivo es que ocupan muchísimo espacio de almacenamiento.

Los formatos más utilizados son DPX, QuickTime (QT) sin compresión y MXF. El formato DPX es el más recomendable hoy en día porque MXF o QT demandan más capacidad de proceso a la máquina.



Algunos fabricantes que tienen intereses en el sector de los archivos audiovisuales han creado códecs de masterización y archivo con algo de compresión que encuentran un equilibrio entre la calidad y el espacio de almacenamiento necesario. Podemos destacar el XAVC de Sony o el AVC Ultra de Panasonic. Este tipo de códecs son más apropiados para los flujos de trabajo de televisión Ultra HD.



Actualmente, impulsado mayoritariamente por el gigante de streaming Netflix, está comenzando a masterizarse en IMF *interoperable master format*.

EL IMF es un formato de máster que emplea cápsulas MXF y ciertos códecs que permiten transportar la mínima media imprescindible y la máxima cantidad de metadatos para los distintos visionados.

Por ejemplo, si el colorista ha realizado dos etalonajes de un proyecto, uno para HDR y otro para SDR, en un máster IMF no tienen por qué viajar dos archivos de media sino tan sólo el archivo de media HDR y la metadata necesaria para la conversión automática a SDR.



Códecs de difusión

El estándar de difusión del cine digital es el DCP (*Digital Cinema Package*) de DCI (*Digital Cinema Initiatives*). El DCP utiliza el códec JPEG 2000, que es una secuencia de fotogramas con compresión JPG que se encapsula en MXF. Tiene un sistema propio de encriptación para evitar usos ilegítimos de las copias de alta calidad que se proyectan en las salas.

El DCP es uno de los pocos ejemplos en los que el sistema de masterización y el de emisión coinciden. Es decir, el DCP que se masteriza en el laboratorio tiene exactamente la misma calidad y características que el que se proyecta en el cine, no hay transformaciones intermedias.



Disco DCP para la proyección de cine digital. Fuente: Redsmoke_

Para la difusión en televisión se utilizan códecs orientados a optimizar el ancho de banda de transmisión. Se utilizan los códecs MPEG2 o MPEG4 (H.264) para la televisión digital de resolución estándar y de alta definición. El nuevo salto en esta familia de códecs es el MPEG-H Vídeo, más conocido como HEVC (H.265), el códec que se está utilizando para la ultra alta definición.

Por ahora hay cuatro versiones de HEVC (H.265): la versión 1 (de 2013) define los perfiles para difusión, las versiones 2 (de 2014), 3 (de 2015) y 4 (de 2016) se centran en los perfiles profesionales de producción y en los formatos de mayor calidad.

La versión 1 incluye los perfiles de difusión en 4:2:0 con cuantificación de 8 y 10 bits. Las versiones 2, 3 y 4 incluyen los perfiles superiores en 4:2:2, 4:4:4 y por encima de 10 bits. De aquí se derivará el equivalente al AVC Intra.

HEVC (H.265) es muy eficiente en la reducción de la tasa de transferencia, pero también es muy costoso a nivel de computación. Necesita mucho más cómputo que H.264 (hasta 10 veces más).

Para la difusión de contenidos audiovisuales de alta calidad por internet existe la norma MPEG DASH (*Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*) que recomienda para el *streaming* un encapsulado MPEG y determinados códecs, entre ellos HEVC (H.265).

Se empezó a hacer *streaming* 4K en MPEG4 (H.264), pero se necesitan por lo menos 20 Mbit/s para que funcione bien. Con HEVC (H.265) se puede hacer con 12-15 Mbit/s y probablemente en los próximos años se pueda bajar hasta a los 10 Mbit/s.





Tabla de códecs de producción 4K

En el siguiente [enlace](#) se puede descargar en formato pdf la tabla actualizada con los códecs más habituales para producción 4K. Incluye ejemplos de formatos y vínculos de referencia. Se ha actualizado incorporando los Prores Raw y los DNx uncompressed.

Para acceder a la zona de descargas de la web de 709 MediaRoom es necesario crear una cuenta de usuario.

| NOMBRE | FABRICANTE | EJEM. CÁMARA / GRABADOR | SISTEMA DE COLOR | MUEST. | CUANT. | RES. | PAR | COMP. | BIT RATE (25 FPS) | SOPORTES COMUNES | MEDIA FORMAT | INFO |
|---------------|-----------------|--------------------------------|---------------------|---------|------------------|---------------------|----------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| XAVC S | SONY | AX-100 | COMPONENTES YUV | 420 | 8b | HD 1080 P 4K P | SP | H264 GOP NC | HASTA 60 Mb/s | TARJETAS MEMORY STICK/SD | ARCHIVOS .mp4 | WIKIPEDIA |
| XF AVC INTRA | CANON | C-300 MARK II | COMPONENTES YUV RGB | 422 444 | 10 / 12b | HD 1080 P 4K / 2K P | SP | H264 NC | HASTA 410 Mb/s | TARJETAS CF/AST | ARCHIVOS .MXF OP 1A | CANON |
| CANON EOS 1DC | CANON | EOS 1DC | COMPONENTES YUV | 422 | 8b | 4K P | SP | MOTION JPEG NC | 500 Mb/s | TARJETAS CF | ARCHIVOS .MOV | CANON |
| AVC ULTRA 4K | PANASONIC | VARICAM 35 | RGB | 444 | 12b | 4K P | SP | H264 NC | 640 Mb/s | TARJETAS P2/MICRO P2 | ARCHIVOS .MXF OP 1B | PANASONIC |
| XAVC 4K | SONY | PMW-F55 | COMPONENTES YUV RGB | 422 444 | 8 / 10 / 12b | 4K / 2K P | SP | H264 VARIABLE | HASTA 960 Mb/s | TARJETAS SxS PRO/XQD | ARCHIVOS .MXF OP 1A | SONY |
| CANON RAW | CANON | C-500 | RGB | RAW | 10b | 4K P | SP | NINGUNA 1:1 | 273 Mb/s | GRABADOR EXTERNO | SEC FOTOGRAMAS .RMP | ABELCINE |
| V-RAW | PANASONIC | VARICAM 35 | RGB | RAW | 12b | 4K P | SP | NINGUNA 1:1 | NC | GRABADOR EXTERNO | NC | CODEX |
| RED CODEC | RED DIGITAL | DRAGON | RGB | RAW | 16b | 8K - 2K P | SP | WAVELET 18:1 - 6:1 | 123 MB/s | SSD REDMAG | ARCHIVOS .R3D | WIKIPEDIA |
| ARRIRAW | ARRI | ALEXA | RGB | RAW | 12b | 6K - 2K P | SP | NINGUNA 1:1 | 276 MB/s (3.5K) | SSD CODEX XR | SEC FOTOGRAMAS .ARI | ARRI |
| CINE RAW | VISION RESEARCH | PHANTOM FLEX4K | RGB | RAW | 8 / 10 / 12/ 14b | 4K / 2K P | SP | NINGUNA 1:1 | 12.8 GB/s (1000 FPS) | SSD CINEMAG | ARCHIVOS .CINE | VISION RESEARCH |
| SONY RAW | SONY | F65 | RGB | RAW | 12 / 16b | 8K - 2K P | SP | WAVELET 6:1 - 3:1 | 245 MB/s | TARJETAS XQD | ARCHIVOS .MXF OP 1A | SONY |
| CINEFORM RAW | GOPRO | KINERAW S35 | RGB | RAW | 12b | 3K / 2K | SP | WAVELET / NINGUNA 10:1 - 3.5:1 / 1:1 | VARIABLE | VARIOS | ARCHIVOS .MOV | WIKIPEDIA |
| CINEMA DNG | ADOBE | BMCC | RGB | RAW | VARIABLE | VARIABLE | SP | WAVELET / NINGUNA VARIABLE | VARIABLE | VARIOS | SEC FOTOGRAMAS DNG ARCHIVOS .MXF | WIKIPEDIA |
| PRORES PROXY | APPLE | ARRIALEXA | COMPONENTES YUV | 422 | 8b | 5K P - SD 576 I | SP / NSP | INTRAFRAME 20:1 | 22.8 MB/s (4K) | VARIOS | ARCHIVOS .MOV ARCHIVOS .MXF | APPLE |
| PRORES LT | APPLE | ARRIALEXA | COMPONENTES YUV | 422 | 8b | 5K P - SD 576 I | SP / NSP | INTRAFRAME 12:1 | 51 MB/s (4K) | VARIOS | ARCHIVOS .MOV ARCHIVOS .MXF | APPLE |
| PRORES 422 | APPLE | ARRIALEXA | COMPONENTES YUV | 422 | 8b | 5K P - SD 576 I | SP / NSP | INTRAFRAME 8:1 | 73 MB/s (4K) | VARIOS | ARCHIVOS .MOV ARCHIVOS .MXF | APPLE |
| PRORES HQ | APPLE | ARRIALEXA | COMPONENTES YUV | 422 | 10b | 5K P - SD 576 I | SP / NSP | INTRAFRAME 5:1 | 110 MB/s (4K) | VARIOS | ARCHIVOS .MOV ARCHIVOS .MXF | APPLE |

Vínculo a la web de [709 MediaRoom](#). En la sección 'descargas' se accede al archivo pdf con la tabla de códecs.

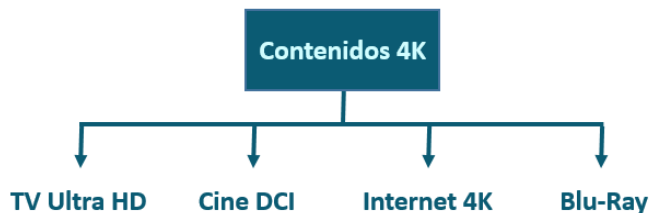


Difusión en Ultra HD

Para saber cómo están las cosas en el terreno de la difusión de vídeo en 4K hemos entrevistado a [Damián Ruiz Coll](#), investigador de la Universidad 'Rey Juan Carlos especializado en ultra alta definición, quien nos ha ayudado a comprender cuál es la situación actual y cómo funciona el complejo entramado de entidades y empresas que actúan en la estandarización e implantación de este salto tecnológico.



Para la difusión de los contenidos en 4K se pueden considerar distintos escenarios: las salas de exhibición de cine digital, la radiodifusión televisiva en Ultra HD y los nuevos Ultra HD Blu-ray.



La exhibición de cine es un entorno controlado que se rige por el estándar de Digital Cinema Initiatives (DCI). DCI es un consorcio, en el que participan los grandes estudios de cine estadounidenses, que ha definido las normas técnicas para el cine digital. Han establecido el estándar que se utiliza en todo el mundo en cinematografía digital y el formato de los archivos digitales para la proyección: la resolución, la relación de aspecto, la frecuencia de fotogramas, el espacio de color, la codificación, etc.

Para la difusión de cine en 4K hay que seguir esta norma única que se ha impuesto en todo el mundo.



Proyector 4K Sony SRX-R515.

Para la televisión hay distintas organizaciones internacionales de normalización que establecen los estándares. Es un mercado abierto y competitivo. En este caso el elemento crítico es la interoperabilidad: la industria debe fabricar unos televisores capaces de entender las señales que les llegan.

La norma BT-2020 es una recomendación de la ITU donde se especifican varios aspectos de la televisión de ultra alta definición como son: la resolución espacial de las pantallas, la frecuencia de fotogramas, el submuestreo de color, la profundidad de bits o el espacio de color.

En Estados Unidos, la SMPTE también ha publicado una norma para 4K/Ultra HD (ST 2036).

Para la implementación de estas normas y la colocación de productos de electrónica de consumo en el mercado se tienen que poner de acuerdo los proveedores de contenidos, los operadores de televisión y los fabricantes de televisores, con el fin de asegurar la interoperabilidad. Hay varios consorcios empresariales que hacen esta labor. Los más influyentes son DVB en Europa, ATSC (Advanced Television Systems Committee) en Estados Unidos e ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) en Japón.



La recomendación de DVB para Ultra HD está en la fase inicial de su desarrollo. Están previstas dos evoluciones más para ir implementando gradualmente las nuevas prestaciones de los equipos. Las especificaciones de la fase 1 son las que están sirviendo de referencia al sector audiovisual para la difusión de contenidos y a la industria de la electrónica de consumo para fabricar los televisores 4K que ya están disponibles. En esta primera fase no está desarrollado todo el potencial de la Ultra HD en cuanto a rango dinámico, espacio de color, profundidad de bits y resolución temporal. El gran salto cualitativo está aún pendiente de concretarse. Por ahora se sigue con el espacio de color BT-709 y la emisión en 4:2:0 con 8 bits de profundidad de color.



En Estados Unidos, Next Gen TV (ATSC 3.0) es el nombre de la norma para Ultra HD. Y en Japón, ISDB y NHK, la empresa de radiodifusión pública, están centrando los esfuerzos en el 8K de cara a las Olimpiadas de 2020.

Internet es un escenario distinto puesto que hay una gran diversidad de dispositivos y pantallas que se pueden conectar. También los ordenadores tienen mucha más agilidad para adaptarse a distintos formatos y códecs.



Interfaz Smart TV en un televisor Samsung 4K. Fuente: HSN.

Hay dos organismos internacionales que definen los formatos, la codificación y la compresión: la ITU y la ISO (*International Organization for Standardization*). Son familias distintas y de alguna manera enfrentadas, pero para tener éxito están abocadas a unirse cada cierto tiempo. Eso pasó con el MPEG.2. Antes de que empezara MPEG.2, la ITU hacía estándares de vídeo, como por ejemplo el H.261, y la ISO hacía los suyos, como por ejemplo el MPEG.1. Para definir el MPEG.2 (H.262) la ITU y la ISO se unieron para hacer la norma en colaboración. Tuvieron mucho éxito y se volvieron a juntar de nuevo para hacer el MPEG.4 AVC (H.264). En 2010 crearon el HEVC (H.265), también llamado MPEG.H parte II Vídeo, que es el códec que se va a utilizar tanto para la televisión Ultra HD como para la difusión de contenidos 4K en internet. Sin embargo, hay limitaciones para la expansión de HECV debido a las patentes que requieren el pago de licencias. Algunas empresas de streaming como Netflix y YouTube están promoviendo el nuevo codec AV1 que se postula como alternativa.





Los primeros equipos Blu-ray Ultra HD se han empezado a distribuir a finales del 2015. El formato es compatible con los televisores 4K que están en el mercado, con una resolución 3.840 x 2.160 y una frecuencia de fotogramas que llega hasta los 60 fps. Utilizan el HEVC (H.265), 10 bits y submuestreo de color 4:2:0. La tecnología está preparada para detectar si el monitor tiene capacidad para reproducir el espacio de color de BT-2020. Permite tres tamaños de disco: 50 GB a 82 Mbit/s, 66 GB a 108 Mbit/s y 100 GB a 128 Mbit/s. Ahora solo hay que esperar a que lleguen los contenidos. Blu-ray también puede ser un formato a considerar para *backup* de datos.



En la siguiente tabla se presentan esquemáticamente las distintas organizaciones internacionales de normalización e interoperabilidad que están actuando para definir el mercado del 4K.

| | | |
|--------------|--|---|
| ITU | International Telecommunication Union | ITU es la organización internacional de normalización que ha creado los estándares H.26x. Conjuntamente con ISO han definido el estándar HEVC (H.265). |
| ISO | International Organization for Standardization | ISO es la organización internacional de normalización que ha creado los estándares de la serie MPEG. Conjuntamente con ITU han definido el estándar HEVC (H.265). |
| DCI | Digital Cinema Initiative | DCI es un consorcio fundado por los grandes estudios de cine estadounidenses. Han creado los estándares para la exhibición de cine digital en 4K. |
| DVB | Digital Video Broadcasting | DVB ha creado el modelo de televisión digital que se utiliza en Europa y otras regiones del mundo. Actualmente están definiendo el modelo de radiodifusión de Ultra HD. La norma de referencia es ETSI.TS101.154. |
| EBU | European Broadcast Union | EBU es una asociación de radiodifusores públicos europeos y empresas asociadas. Siguen las recomendaciones de DVB. |
| ATSC | Advanced Television Systems Committee | ATSC ha creado el modelo de televisión digital que se utiliza en EE.UU. y otras regiones del mundo (fundamentalmente en Norteamérica). Para el 4K están trabajando una nueva norma que se llamará ATSC 3.0. |
| SMPTE | Society of Motion Picture & Television Engineers | SMPTE es una asociación profesional con mucha influencia internacional que hacen normas que afectan a la producción audiovisual. Para la televisión Ultra HD la norma de referencia es la SMPTE ST 2036:2014. |
| ISDB | Integrated Services Digital Broadcasting | ISDB es el consorcio que ha creado el modelo de televisión digital que se utiliza en Japón con una importante implantación en Sudamérica. |
| DTMB | Digital Terrestrial Multimedia Broadcast | DTMB es el estándar de televisión digital que se utiliza en China. |



Para impulsar esta nueva tecnología la industria creó en 2015 un grupo de trabajo, la [UHD Alliance](#), que pone en relación a los fabricantes de pantallas con los productores, los dueños de contenidos y los distribuidores. Es una iniciativa promovida por los grandes estudios de producción de cine y los fabricantes de pantallas, y su objetivo es favorecer la comercialización y la confianza de los consumidores finales en esta nueva tecnología.



Logotipo de Ultra HD Premium. Fuente: UHD Alliance.

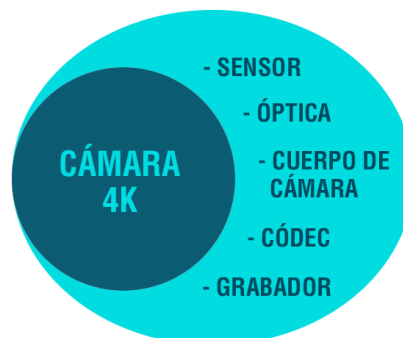


Captación 4K

En estos últimos años se ha producido una revolución en el mundo de la producción de cine con la sustitución prácticamente total de la tecnología anterior basada en la película cinematográfica. La calidad del vídeo digital por fin ha alcanzado niveles equiparables con los del material fotoquímico. Hoy en día, la gran mayoría de las películas se graban con cámaras digitales.

Por otra parte, la distancia tecnológica que ha separado siempre los mundos del cine y televisión se ha reducido. La convergencia se ha producido en torno a los conceptos de cine digital en 4K y televisión de Ultra HD. Ambos medios ya utilizan la misma tecnología y los mismos instrumentos.

En esta sección se presenta un panorama de las cámaras digitales de uso profesional analizando los [sensores](#), las [ópticas](#), los [cuerpos de cámara](#) y los [dispositivos de grabación](#). No están en esta relación todos los equipos periféricos que rodean a la cámara en una grabación profesional porque la lista sería demasiado larga, pero se ha intentado dar una visión panorámica del mercado de las cámaras profesionales 4K y superiores.



Componentes clave de un sistema de captación 4K.



Sensores de cámara y ópticas

Sensores de cámara y ópticas

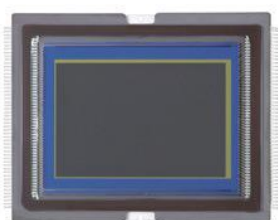
La calidad de las ópticas y de los sensores de las cámaras es, sin duda, unas de las claves fundamentales para la ultra alta definición y el cine 4K. Para adentrarnos en este asunto hemos entrevistado a [Julio Gómez](#), formador, *betatester* y experto en esta materia. Hemos intentado resumir, de forma simplificada, unos conceptos básicos y unas opiniones que amablemente nos ha transmitido.



La sección comienza con una explicación sobre cómo funcionan [los sensores](#) y una comparación de sus tamaños más habituales en la producción de cine y televisión. El apartado dedicado a [las ópticas](#) para 4K contiene referencias y vínculos a los principales fabricantes de ópticas profesionales con comentarios de cada uno de los modelos que ofrecen en sus catálogos. Finalmente se describen las distintas [monturas](#) para la fijación de las ópticas a las cámaras.

Sensores

Los sensores están en el plano focal de las cámaras digitales. Es el plano donde convergen los haces de luz que atraviesan el objetivo y está compuesto por una matriz de millones de cavidades captadoras de luz llamadas fotodiodos. Durante la exposición, los fotodiodos quedan al descubierto para recoger y almacenar la información de brillo y color de cada píxel.

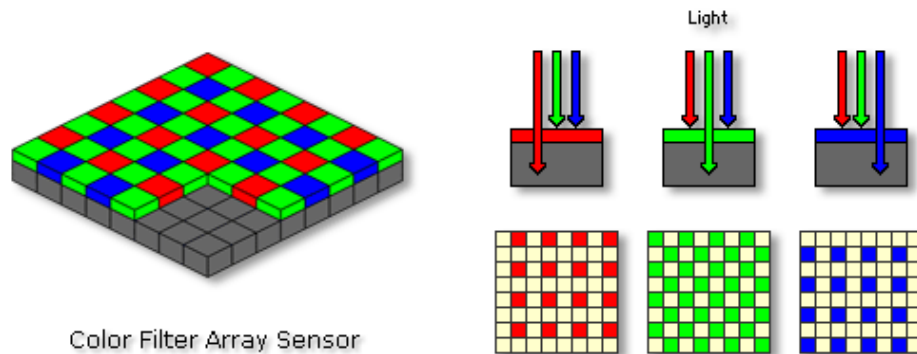


Sensor de una cámara digital.

Para captar el color se colocan unos filtros cromáticos delante de cada uno de estos fotodiodos. La tecnología más extendida para esta función es la máscara de Bayer que está formada por un 50% de filtros verdes, un 25% de rojos y un 25% de azules. Interpolando dos muestras verdes,

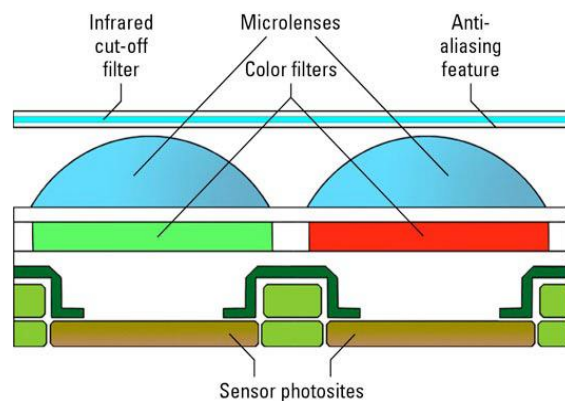


una roja y una azul se obtiene un píxel de color. En los archivos *raw* se guarda la información del patrón de Bayer de forma directa, sin interpolaciones. Por ello, al proceso de relevado *raw* también se le conoce como ‘debayerización’ (*debayering*).



Patrón Bayer que se usa en los sensores para captar la información de color de cada píxel.
Fuente: Vincent Bockaert.

Aparte de los filtros de color del patrón Bayer, en un sensor hay otros elementos: un filtro de paso bajo para el *anti-aliasing*³, un filtro de infrarrojos (IR)⁴, unas microlentes⁵ y, dependiendo de las cámaras, unos filtros de densidad neutra (ND).



Arquitectura del sensor de captación digital de imágenes.

Todos estos filtros del sensor, que son necesarios, lastran el potencial de resolución que pueden dar los objetivos y la cantidad de luz que llega a cada fotodiodo, afectando también al rango

³ Cualquier sistema que toma muestras de una señal continua a intervalos discretos puede presentar moiré en algunos casos. Por eso se utilizan filtros de paso bajo (*anti-aliasing*) en la mayoría de las cámaras del mercado que reducen la resolución de detalles potencialmente problemáticos que superen la capacidad de discernir detalles del sensor.

⁴ Los filtros IR están diseñados para bloquear las longitudes de onda infrarrojas dejando pasar la luz visible. Se añaden delante de los sensores de las cámaras, dada la gran sensibilidad de estos a la luz casi infrarroja.

⁵ Las microlentes se ocupan de dirigir los rayos de luz a la zona fotosensible.

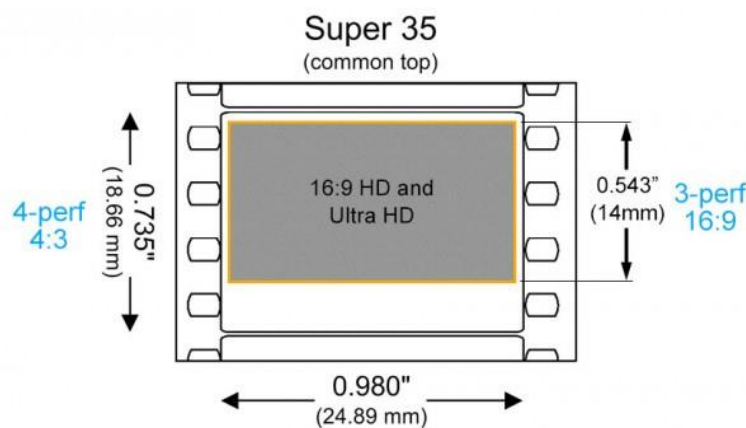


dinámico de la imagen resultante. A día de hoy el rango dinámico es el gran reto para aumentar la sensación de calidad de una imagen, tanto o más que la resolución.

Al aumentar el tamaño de los fotodiodos, es decir con sensores grandes con menos megapíxeles, llega más cantidad de luz y, por lo tanto, se incrementa potencialmente el rango dinámico.

El tamaño del sensor determina el tipo de objetivo que se necesita. Las cámaras de cine tradicionales utilizaban película de 35 mm y la denominación de los tamaños de los sensores digitales sigue utilizando esta referencia, indicando así que los objetivos que se utilizaban en cine y en fotografía siguen siendo válidos para estas nuevas cámaras.

Pero los términos 35 mm, Super 35 mm, *full frame*, etc., no son muy precisos puesto que el número 35 hace referencia al ancho en milímetros de una película fotoquímica considerando también la zona de las perforaciones y sin tener en cuenta la relación de aspecto. En la siguiente imagen se puede apreciar la correlación de tamaño de la película fotoquímica y los sensores digitales de Super 35 mm.



Tamaño de los sensores digitales de Super 35 mm en relación con la película de cine. Fuente: Wikipedia y Wolfcrow.

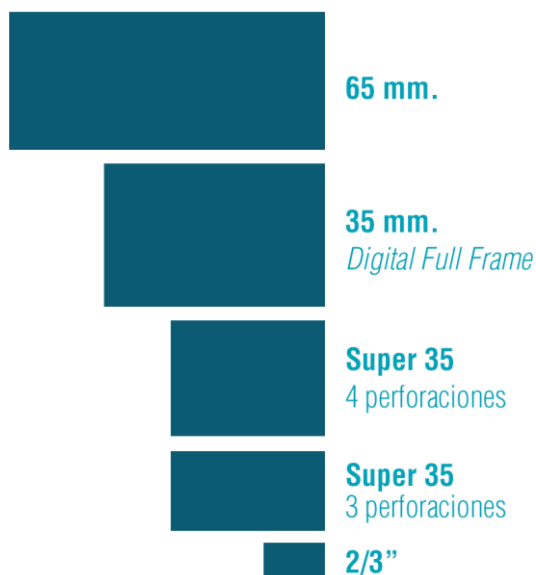
El tamaño del sensor tiene también una influencia directa en la profundidad de campo. Las cámaras con sensores más grandes, por las características de la óptica que utilizan, dan menos profundidad de campo. Por este motivo, en televisión se han utilizado habitualmente sensores pequeños, más sencillos de ajustar y que dan mucha profundidad de campo. Es una característica muy efectiva para grabaciones rápidas realizadas por un solo operador. En cine, con película de 35 mm, el foco era más crítico dando lugar a bellas imágenes que utilizan el enfoque selectivo. Las cámaras digitales de cine han heredado esa característica porque utilizan sensores grandes.

Para aumentar la espectacularidad y la calidad de la imagen cinematográfica se ha utilizado, en algunas ocasiones, la película de 70 mm (la imagen en positivo que se proyectaba ocupaba aproximadamente 65 mm). En cine digital también se está viendo la misma tendencia: la Alexa 65 tiene un sensor de 65 mm que requiere objetivos fabricados específicamente para este



tamaño; Red y Panavision también han lanzado nuevas cámaras 8K con un sensor de tamaño superior al *full frame*.

En la siguiente figura se pueden comparar los tamaños de sensores más habituales en las cámaras profesionales 4K.



Comparación de los tamaños de los sensores más habituales para las cámaras 4K.
Fuente: 709 MediaRoom.

Los sensores más grandes (de 65 mm) se utilizan en las cámaras de cinematografía de gama alta, como por ejemplo la Arri Alexa 65 con una resolución espacial de 6K (6560 x 3102).

El formato *full frame* (equivalente a 35 mm-8 perforaciones) se utiliza mucho en fotografía y recientemente se está extendiendo en cinematografía. Hay cámaras fotográficas DSLR (*Digital Single Lens Reflex*), como la Canon 5D, que graban vídeo con un sensor *full frame*. En esta misma categoría de producto, la Sony A7 graba en 4K con sensor *full frame* y consigue unos resultados espectaculares en condiciones de baja luz y en cuanto a rango dinámico. Las cámaras de cine digital Sony Venice, Red Monstro 8K VV, Panavision DXL, Arri Alexa LF o Arri Alexa Mini LF también emplean tamaños de sensor similares.

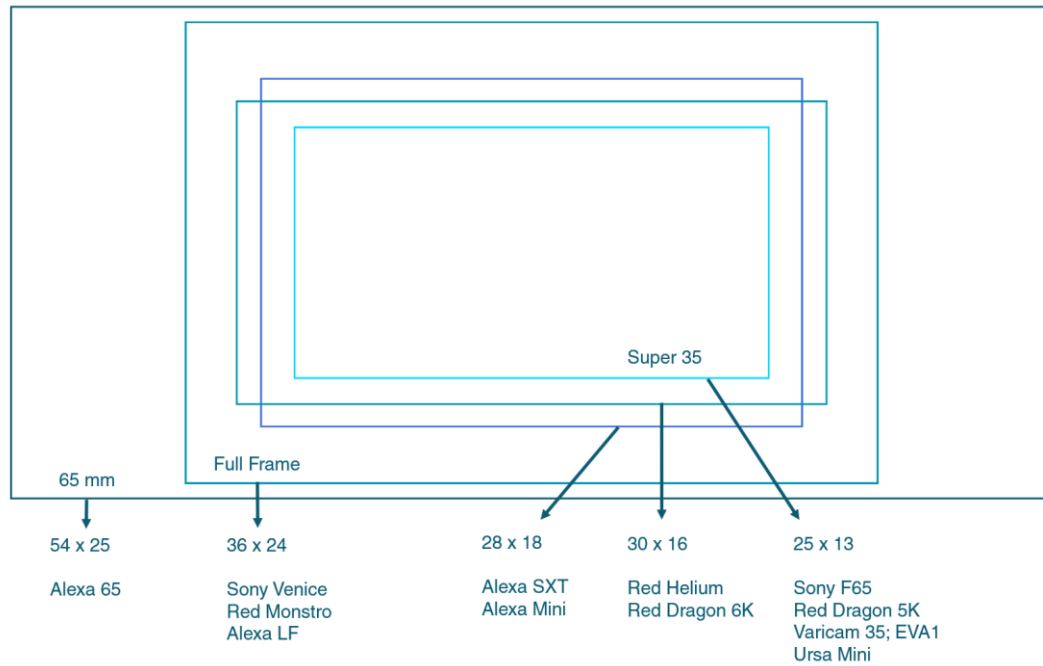
La mayoría de las cámaras de cine digital utilizan el sensor de Super 35 mm-3 perforaciones: las Arri Amira y Alexa Classic, las de Red, las de Sony, las de Panasonic, etc.

El sensor de las Arri Alexa XTS está más cercano al Super 35 mm-4 perforaciones con una proporción de 1,55:1 (modo llamado en las Alexa *Open Gate 4:3*). Esta relación de aspecto se utiliza en muchas ocasiones con lentes anamórficas 2x para hacer los formatos panorámicos *scope 2,39:1*.

El sensor de 2/3" se utiliza frecuentemente en cámaras de televisión.



En la siguiente imagen se puede apreciar las diferencias de tamaño entre algunos sensores 'Super 35' (Alexa SXT, Red Helium o Sony F65) en comparación con el sensor de la Alexa 65 y el *full frame* (Alexa LF, Red Monstro, o Sony Venice).



Tamaños de sensor de distintas cámaras de cine digital. Fuente: Studiodash

Ópticas para 4K

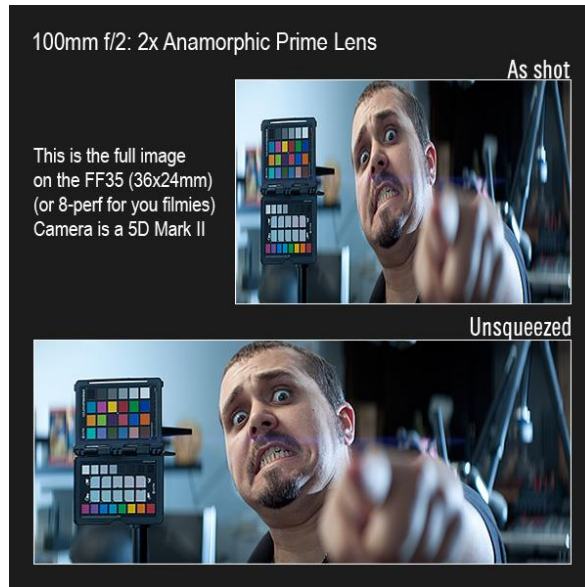
Las ópticas de cine y fotografía llevan siendo 4K desde hace mucho tiempo porque los soportes fotoquímicos siempre han tenido esa resolución e incluso mucha más.

Pero no es lo mismo un objetivo de fotografía que uno de cine. En fotografía no hay problemas de *aliasing* (*moiré*) que son críticos en la imagen en movimiento. Desde el punto de vista óptico, los objetivos para cine no son necesariamente de mayor calidad, pero mecánicamente son superiores porque los ajustes se hacen manualmente (foco, diafragma, etc.).

En ópticas de cine podemos empezar diferenciando las ópticas esféricas de las anamórficas.

Las anamórficas se utilizan para hacer los formatos panorámicos scope. Comprimen la imagen en sentido horizontal para aprovechar toda la superficie del sensor deformando ópticamente la imagen. En postproducción se 'desanamorfa' para obtener el formato panorámico final. La mayoría de los fabricantes ofrecen lentes anamórficas con dos factores de deformación horizontal: 1,3x y 2x.

Por ejemplo, se puede utilizar una cámara Alexa SXT con sensor cercano al 4:3 (Super 35 mm-4 perforaciones) y una óptica anamórfica para cubrir gran parte del sensor. Si el factor de multiplicador es un 2x se obtendrá una imagen suficientemente panorámica para recortarla a 2,39:1.

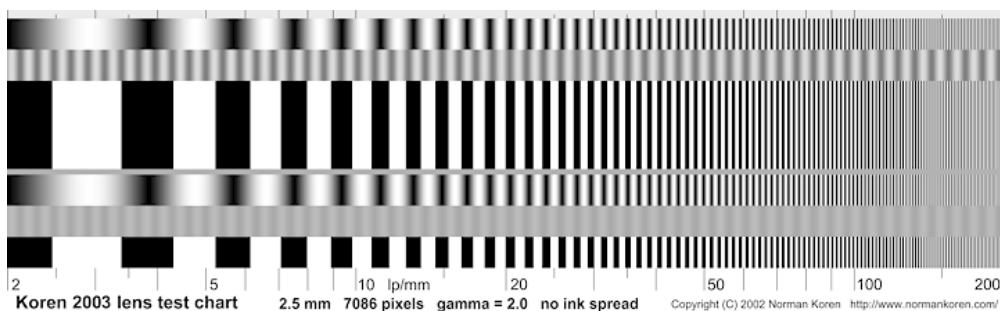


Pruebas con una lente anamórfica para generar formatos panorámicos. Fuente: PHFX Phil Holland.

Las ópticas esféricas son las que no deforman ópticamente la imagen.

También se pueden clasificar las ópticas por su distancia focal. Los objetivos con distancia focal fija son ópticamente menos complejos y suelen dar más calidad. Los de distancia focal variable son los *zooms* y se utilizan mucho para televisión.

La resolución de las ópticas se mide en pares de líneas por milímetro. Es un indicador que se refiere a la capacidad de la óptica para representar nítidamente y de forma claramente diferenciada dos líneas: una negra y una blanca. En una situación ideal para 4K necesitaríamos unas 42 líneas por milímetro. Cualquier óptica estándar de cine de hace 30 años tenía más de 100 pares de líneas por milímetro y la mayoría de las actuales llegan casi a 200, con lo cual este no es el elemento crítico en los objetivos. El límite de la resolución, actualmente, está en el sensor, aunque también hay variables que afectan a la resolución de los objetivos, como son la apertura del diafragma o las diferentes respuestas en el centro o los bordes del fotograma.



Carta para la evaluación de la resolución de una lente. Fuente: Norman Koren.



Al aumentar la resolución de los sensores también se han intensificado los problemas de aliasing, un defecto de las imágenes en movimiento que se produce cuando no se puede discernir con claridad algunos elementos de detalle y aparecen cosas que no son reales: líneas en diagonal, efecto rejilla, bandas de color, etc. El *aliasing* más común es el *moiré* que se produce, por ejemplo, al grabar a un personaje con una camisa de rayas finas o al filmar una textura de rejilla. Es un problema que surge por la combinación de una óptica y un sensor. A mayor resolución, más pares de líneas por milímetro y más problemas de *aliasing*⁶. Los filtros de paso bajo que tienen los sensores, también llamados filtros de *anti-aliasing*, sirven para paliar este problema, pero bajan la resolución, la nitidez y el contraste que puede dar el objetivo.

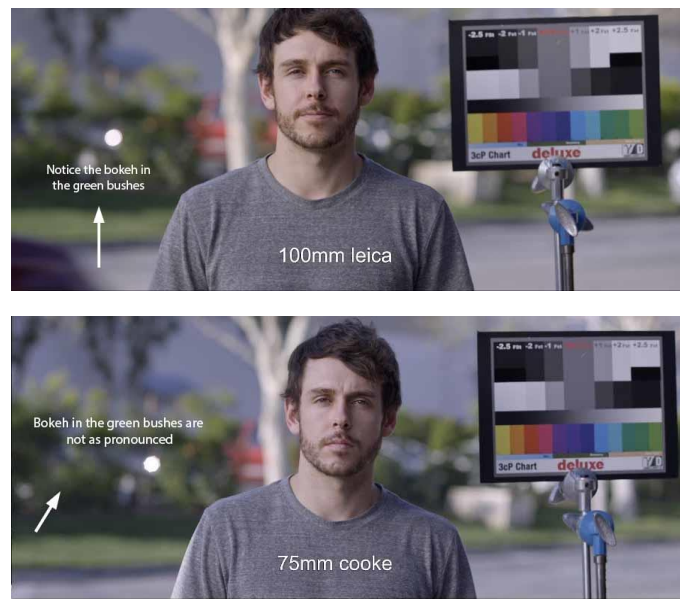
No todas las ópticas dan el mismo resultado en cuanto a contraste y color. Por ejemplo, las Arri-Zeiss dan un contraste muy acusado. Con las Cooke, por el contrario, se consigue una imagen mucho más suave y empastada. Podría parecer que tienen menos resolución, pero no es así. Lo que tienen es otro *look* y han sido diseñadas para dar estos resultados diferenciados. Para elegir la óptica hay que conocer estos parámetros que no son solo técnicos, sino de estética fotográfica.



Fotograma de *World without End* grabado con cámara Arri Alexa y óptica Cooke S4. Fuente: Cooke.

Otro aspecto estético importante para caracterizar una óptica es el bokeh. Es un término que se utiliza para referirse a la calidad de un objetivo basada en la estética de las zonas desenfocadas que produce. *Bokeh*, en japonés, significa desenfoque. Es especialmente importante en objetivos muy luminosos, ya que en sus mayores aperturas de diafragma pueden producir una profundidad de campo mínima y, por tanto, gran parte de la imagen aparecerá desenfocada.

⁶ Para más información sobre la relación de aliasing y la resolución se puede consultar el artículo [“Resolution vs. Aliasing: implications for motion capture”](#) publicado en la página web de Red.



Comparación del bokeh de una óptica Leica Summilux C y una Cooke S4. Fuente: Hurlbut Visuals Blog.

Las dos ópticas más utilizadas para cine son las Arri-Zeiss y las Cooke. Hay en el mercado otras marcas muy interesantes, pero estas dos son una opción segura que no tiene riesgo y que no requiere gastar tiempo en pruebas.

Arri-Zeiss tiene 3 juegos de objetivos. El más sencillo de focal fija se llama Compact Prime, y Compact Zoom es el más sencillo de los de focal variable. El siguiente juego es el Ultra Prime, que corresponde a una gama media-alta y da una tonalidad ligeramente más fría. Finalmente, el juego Master Prime, es el que ofrece mayor calidad. Esta serie también dispone de lentes anamórficas para formatos panorámicos.



Ópticas Arri-Zeiss Master Prime. Fuente: Arri.

Las **Cooke** son muy distintas a las Arri-Zeiss. No tienen tanto contraste, son más uniformes, en cambio tiene un *bokeh* más pronunciado. Los tonos son más cálidos, respetan muy bien los tonos de piel y son más amables con los actores en términos de fotogenia. Es una buena elección para hacer imágenes suaves, con colores pastel y cálidos. Para imágenes más duras, más contrastadas, son más adecuadas las Master Prime de Arri-Zeiss.



Objetivo Cooke de 25 mm. Fuente: Cooke.

Leica tiene las Thalía, las Summilux y las Summicron-C. Tienen una calidad extraordinaria, con un *bokeh* espectacular. Desde el punto de vista de la ingeniería de óptica son de lo mejor que existe, pero dan un *look* muy particular que no gusta a todo el mundo.



Objetivo Leica Summicron-C de 50 mm. Fuente: cw-sonderoptic.

En **Panavision** están las Primo. Estos objetivos no se venden, solo se pueden alquilar. Tienen una montura propia (PV) pero la adaptan a cualquier cámara. Fueron pioneros con los objetivos anamórficos.



Objetivos anamórficos Panavision. Fuente: Panavision.

Hay otras marcas muy interesantes. Por ejemplo, **Angenieux** es mítica en *zooms*. Son ópticas muy versátiles con gran rango y una calidad media buena. En cine, cuando hay que utilizar un *zoom* es frecuente utilizar un Angenieux.



Objetivo Angenieux Optimo Style 25-250. Fuente: Angenieux.



Canon es el primer fabricante de objetivos del mundo en cuanto a número de ventas. Canon Prime es la línea que tienen para cine y son ópticas muy buenas. No son muy utilizadas porque solo se fabrican con montura EF y en cine se usa habitualmente la montura PL, aunque se puedan poner adaptadores para hacer esta conversión. Se han utilizado para las dos últimas temporadas de la serie *Homeland* y el resultado es excelente. Tienen muy buena resolución y un *bokeh* precioso. En cuanto al color, es el característico de Canon, no tan real pero muy agradable a la vista donde los tonos de piel dan muy bien sin necesidad de ajustes posteriores. Se pueden parecer a las Cooke, pero tienen más contraste y más resolución en la parte central.



Objetivo Canon CN-E135 mm T2.2 L F. Fuente: canon.com.

En una gama intermedia están las ópticas **Schneider**. Las Xenar son las que están dirigidas a la cinematografía y las Xenon son más asequibles, pensadas para cámaras *full frame* o DSLR, aunque pueden dar buenos resultados en cualquier registro.



Objetivos Schneider Cine-Xenar. Fuente: Schneider.

En ópticas para cine también tenemos que hablar de las **Hawk**. Tienen dos líneas, una actual y otra *vintage*, que imita a las lentes anamórficas de los años 70, con muchos reflejos internos (tipo *flare*) y que resultan muy atractivas en algunos casos. Un ejemplo reciente de este *look* de Hawk Vintage es la película *Kingsman servicio secreto* (Matthew Vaughn, 2015).



Juego de objetivos de Hawk Vintage 74. Fuente: Vantage film.



Para trabajar en 65 mm, fundamentalmente para la Alexa 65, están las **IB/E Optics** (que se alquilan en Arri Rental), las de Panavision y las de Hawk, que también ha sacado una línea nueva para este tipo de sensores.



La nueva gama de objetivos, rediseñados íntegramente por IB/E Optics a partir de elementos ópticos de Hasselblad HC (Fujinon) para su uso con las Alexa 65. Fuente: Arri Rental.

Para cinematografía *indie* o en proyectos de bajo presupuesto, si se usan ópticas de cine, las más asequibles son las Arri Zeiss Compact Prime 2 o las CN de Canon. **Tokina** ha sacado modelos de ópticas de cine para este segmento de mercado con una relación calidad-precio muy buena.



Objetivo Tokina Cinema Vista 35 mm T 1,5 en una Sony a7S. Fuente: Newsshooter.

Cuando hay muchas restricciones de presupuesto se pueden utilizar ópticas de fotografía que son mucho más baratas. La diferencia no está tanto en la resolución o en la calidad óptica sino en la operación, ya que los objetivos de fotografía no están pensados para hacer cine.

Para televisión, los dos fabricantes de ópticas que copan el mercado son **Canon y Fujinon**. En ambos casos tienen productos preparados para Ultra HD y 4K. Podemos citar las Fujinon Cabrio y las Cine-servo de Canon. Son ópticas *zoom* para televisión con operación mediante servo y pensadas para sensores Ultra HD de Super 35 mm.



Objetivo Fujinon Cabrio con servo. Fuente: fujifilm.eu

En la siguiente tabla están los vínculos a las páginas comerciales de los fabricantes de ópticas que hemos citado en el texto.

| Marca | Modelo | Vínculo |
|------------|-------------------------------|--|
| Arri Zeiss | Signature | zeiss.es |
| | Master Prime | |
| | Master Anamorphic | |
| | Ultra Prime | |
| | Compact Prime Compact Zoom | |
| Cooke | S4/i Prime Lenses T2 | cookeoptics.com |
| | 5/i Prime Lenses T1.4 | |
| | Anamorphic/i T2.3 | |
| Leica | Thalia | cw-sonderoptic.com |
| | Summilux | |
| | Summicron-C | |
| Panavision | Primo | panavision.com |
| Angenieux | Optimo Style Series | angenieux.com |
| Canon | Prime | canon.com |
| | Broadcast lenses | |
| Schneider | Cine-Xenar III | Schneiderkreuznach |



| Marca | Modelo | Vínculo |
|--------------|--|--|
| | Xenon FF-Prime | |
| Vantage Hawk | Hawk V-lite/anamorphics Vintage'74 / one T1 | vantagefilm.com |
| Tokina | Cinema ATX | tokinacinema.com |
| Fujinon | Broadcast lenses | fujifilm.eu |

Monturas

Para la fijación de las ópticas a los cuerpos de cámara hay distintos tipos de monturas vinculadas con los fabricantes y con el tipo de sensor para el que se ha diseñado el objetivo. También hay adaptadores para hacer conversiones. Los tipos de montura más utilizados son los siguientes:

- PL (Positive Lock) se usa para cine y con sensores de Super 35mm.
- LPL: Nueva montura de Arri para sus ópticas *full-frame*
- B4 es la montura que se usa para televisión y sensores de 2/3 de pulgada.
- PV es la montura propia de Panavision para adaptar sus objetivos a las distintas cámaras del mercado.
- EF (Electro Focus) es la montura de Canon. Otros fabricantes de cámaras como Blackmagic también utilizan la montura EF para poder utilizar las ópticas de Canon.
- Sony comercializa la montura E y la montura FZ que se usan con la F5 y la F55, y son muy parecidas a la PL.
- MFT (Micro Four Thirds) es una montura que se utiliza con sensores un poco más pequeños en cámaras Olympus y Panasonic.
- XPL es la nueva montura empleada por Arri en la Alexa 65.



Distintos tipos de montura y sensor para la cámara Blackmagic Ursa. Fuente: Blackmagic.



Cámaras

La gama más alta de cámaras digitales está dirigida a la cinematografía digital. Todos los conceptos que se han presentado en las secciones anteriores —resolución espacial y temporal, rango dinámico, curvas de gamma logarítmicas, espacios de color, etc.— se ven reflejados en estas cámaras que son con las que se produce el cine de ficción de alto presupuesto. Se han diseñado para obtener el máximo nivel de calidad posible. En cuanto a su ergonomía o su operatividad, están pensadas para que sea un equipo de personas las que las opere, no un único operador. Varios fabricantes tienen productos dirigidos a este segmento de mercado: [Arri](#), [Red](#), [Panavisión](#), [Sony](#), [Panasonic](#), [Aja](#), [Canon](#), y [Blackmagic](#) son los más relevantes.



Cámara de cinematografía digital Arri Alexa XT. Fuente: Arri

Para grabaciones con altas frecuencias de fotogramas encontramos la Phantom Flex de [Vision Research](#), capaz de grabar 1.000 fps en 4K.



Cámara Phantom Flex4K. Fuente: Vision Research.

Otros modelos de cámara 4K están orientados a la producción de documentales de alta calidad y a la televisión Ultra HD. Estos equipos son la actualización de las antiguas cámaras de hombro de televisión para periodismo electrónico (ENG, *Electronics News Gathering*) y documentales. Actualmente pueden tener un tamaño menor o incluso no tener soporte para apoyarlas en el hombro, pero siguen conservando ese espíritu de cámara más ligera que puede ser operada por



una sola persona. No ofrecen los mismos niveles de calidad que las cámaras de cine digital pero cumplen con los estándares profesionales de la televisión (*broadcast*).



Cámara Arri Amira, orientada a producción de documentales y televisión en 4K. Fuente: Arri

En este tipo de cámaras es importante la robustez (porque van a recibir un uso muy intensivo) y la ergonomía operativa. Algunos equipos incorporan la opción *Pre-Record*, muy interesante para deportes y documentales puesto que permite empezar a grabar unos segundos antes de pulsar el botón. Para este segmento de mercado encontramos cámaras de los fabricantes especializados en cine, como [Arri](#) o [Red](#), y también de otras marcas con una gama más amplia de productos como [Sony](#) o [Canon](#).

La producción de eventos deportivos en directo siempre ha sido un campo de experimentación donde probar las nuevas tecnologías de la imagen. Durante el Mundial de fútbol de Brasil 2014 se hicieron las primeras retransmisiones 4K con las cámaras Sony F55, un modelo que puede servir tanto para cinematografía como para cámara de estudio de televisión o producción de documentales. En 2015, Sony lanzó un nuevo equipo dirigido al mercado profesional de la televisión Ultra HD, el HDC-4300, versátil para directos, cámara de estudio o ENG.



Dos configuraciones de la cámara Sony HDC-4300 para producción de TV en 4K. Fuente: Sony.

Hay una nueva categoría de producto que se ha hecho muy popular en los últimos años y que es una evolución de las cámaras fotográficas réflex DSLR y *mirrorless*. Podemos clasificar estas cámaras como de cinematografía *indie*. En cuanto a ergonomía, no se adaptan bien al



periodismo electrónico ya que requieren muchos accesorios que hace difícil y delicada la operación. Ahora bien, tienen sensores grandes de 35 milímetros (*full frame*), baja profundidad de campo y se consigue la apariencia visual que dan las cámaras de cine, lo que se conoce en inglés como *cinematic look*. De las que graban en 4K podemos destacar la Sony Alfa 7S, la Canon 1D y la Panasonic Lumix GH4.



Cámara Canon EOS-1D. Fuente: Canon.

En una gama de producto más económica encontramos las minicámaras o cámaras de mano. Muchos fabricantes están sacando al mercado cámaras 4K destinadas al mercado del vídeo que no cumplen los estándares del cine digital o del mercado profesional de la televisión. Este salto se refleja en el precio de los equipos, mucho más asequibles, y en los códecs que utilizan. Para reducir la tasa de transferencia y poder grabar en las tarjetas SD se recurre al submuestreo de color y a la compresión. Siempre que el color se submuestra a 4:2:0, la señal queda fuera de las normas profesionales de producción. Otro indicador es el flujo de transferencia del códec de grabación. Cuando el flujo de transferencia es bajo (por ejemplo 100-200 Mbit/s en 4K) se trata de un códec de calidad semiprofesional, *prosumer*, doméstico o como se quiera denominar esta categoría. En la siguiente figura podemos ver una cámara de JVC, la GY-HMQ10U, que graba 4K en tarjeta SD con una tasa de transferencia de 144 Mbit/s.



Cámara de mano JVC GY-HMQ10U. Fuente: Bhphotovideo.

Otra categoría muy interesante que ha irrumpido en el mundo del 4K es la de las minicámaras de acción y las cámaras de los teléfonos móviles. Se utilizan para grabar clips cortos de gran espectacularidad o para grabar escenas de acción como complemento de otras cámaras de cine digital o de *broadcast*. La GoPro Hero 4 Black Edition es una minicámara 4K muy ligera que puede tener este tipo de uso complementario como cámara de acción. Graba internamente en una



tarjeta SD utilizando un códec con mucha compresión y tiene una óptica fija gran angular. Puede resultar muy útil para volar en un dron, lanzarse por un precipicio o en cualquier situación de riesgo a donde no se puede llegar con una cámara profesional.



Cámara de acción GoPro Hero 7. Fuente: GoPro

Arri, un estándar para cinematografía digital

Las cámaras Arri tienen una robustez, una colorimetría y un rango dinámico extraordinarios. Muchos directores de fotografía de las grandes producciones de cine eligen estas cámaras para sus rodajes. Son especialmente reconocidas por sus resultados en los tonos de la piel.

Arri ofrece dos tipos de cámaras: la serie Alexa, orientada a la cinematografía digital, y la Amira, para documentales de alta calidad o televisión.

La familia de cámaras Alexa está compuesta por un conjunto de modelos: Alexa 65, Alexa LF, Alexa SXT, Alexa Mini y Alexa Mini LF.



ALEXA LF



ALEXA SXT W



ALEXA Mini



ALEXA SXT EV

Familia de cámaras Arri Alexa. Fuente: Arri.



Alexa Mini LF. Fuente: Arri.



Las cámaras Alexa se introdujeron en el mercado en 2010 y se convirtieron rápidamente en las cámaras digitales más fiables y más utilizadas en la industria del cine profesional. El modelo Alexa 65, la más alta de gama tiene un sensor de 65 milímetros y una resolución de 6K. Está disponible solo en alquiler. Este sensor requiere también ópticas específicas para 65 mm. Tanto Arri, a través de IB/E Optics, como Panavision y Hawk, tienen objetivos de máxima calidad diseñados para este nuevo tamaño de sensor.

Alfonso Cuarón consiguió 2019 el Oscar a la mejor dirección de fotografía con *Roma*, rodada con una Alexa 65. De hecho, en los últimos cinco años todas las películas que obtuvieron el Oscar a la mejor dirección de fotografía se rodaron con Alexa.



Cámara Arri Alexa 65. Fuente: Arri

Las cámaras Amira, por su soporte de hombro y su ergonomía, están pensadas para documentales y televisión. Amira solo graba con códecs de imagen procesada mientras que las Alexa pueden grabar en procesado (ProRes / DNxHD) o en *raw* sin compresión (ArriRaw).



Cámara Arri Amira. Fuente: Arri

Red, pioneros del 4K

Red fueron pioneros en cine digital 4K con la Red One en 2007. En ese momento fueron unos de los protagonistas de la transición del cine del fotoquímico al digital. Las cámaras Red eran muy baratas en relación con los precios de la época.



En la actualidad es un fabricante bien posicionado en el mercado de cámaras de cine de máxima calidad. Tienen la ventaja del tamaño, ya que son pequeñas y son muy convenientes para determinados usos como la *steadycam*.



Cámara Red Helium. Fuente: Red.

En su oferta actual Red tiene cinco cámaras DSMC2: Monstro 8K VV, Helium 8K S35, Gemini 5K S35, Dragon X 5K S35 y Ranger que, dependiendo de los modelos, puede grabar a 8K, 6K, o 5K. Todas ellas graban *raw*, con el códec RedCode Raw que admite distintos niveles de compresión en Apple ProRes o en Avid DNxHR/HD. El modelo Ranger sólo está disponible para alquilar.

Podría ser recomendable trabajar con alguna de estas cámaras a 8K para asegurar a nivel de resolución la compatibilidad de nuestras imágenes con los sistemas de masterización del futuro.

La última ciencia de color desarrollada por Red IPP2 ha conferido a estas cámaras de un mayor rango dinámico, una mejor reproducción cromática incluyendo los tonos de pieles y una disminución del ruido, mejorando sustancialmente la calidad de la imagen.



MONSTRO 8K VV

HELIUM 8K S35

GEMINI 5K S35

DRAGON-X 5K S35

Familia de cámaras Red. Fuente: Red..

Sony, cámaras 4K para toda la gama del mercado

Sony tiene cámaras 4K para toda la gama de mercado: cinematografía digital, *broadcast*, cámaras de mano y DSLR.

Sony Venice es una cámara de cine digital con la que Sony demuestra su compromiso con los creadores cinematográficos. La nueva ciencia de color, sistema de menús simplificados y códecs



de grabación procesados y raw dan cuenta de ello. La cámara tiene un sensor tipo *full-frame* y una resolución de 6K.



Cámara Sony Venice. Fuente Sony

La Sony F65 es una cámara de cine digital del más alto nivel: tiene un sensor de Super 35 mm que graba 8K, aunque el procesado final está pensado para 4K; ofrece la posibilidad de grabar en *raw* comprimido con el códec SonyRaw y es una de las cámaras tecnológicamente más avanzadas para cinematografía.



Cámara Sony F65. Fuente: Sony.

Los modelos F55 y F5 son cámaras que se sitúan entre dos mundos: el del cine digital y el de la televisión (series, documentales e, incluso, directos). Tienen una variedad de códecs muy amplia y permiten grabar en *raw* mediante un grabador externo o internamente en 4K en códecs procesados.



Cámaras Sony F5 y F55. Fuente: Sony.



También en una zona intermedia encontramos la Sony FS7, con muy buenas prestaciones como cámara de documentales y televisión. Tiene un sensor Super 35 mm y alcanza 14 f-stops de rango dinámico. Para la grabación 4K utiliza un códec XAVC que está basado en MPEG.4 AVC (H.264). Para 4K a 25 fps en progresivo da una tasa de transferencias de 250 Mbps.



Cámara Sony FS7. Fuente: Sony.

El modelo Sony FS5 incorpora un modo de grabación HDR empleando la curva HLG que Sony denomina “Instant HDR”



Cámara Sony FS5. Fuente: Sony.

Para producción de televisión tienen las cámaras, la HDC-4300, con tres sensores 4K 2/3” de pulgada.



Cámara Sony HDC-4300. Fuente: Sony.



Sony PXW-Z450 es un camcorder de hombro XDCAM 4K con un sensor de imagen 4K de 2/3". Permite acoplar objetivos con montura B4 estándares directamente en el cuerpo sin necesidad de usar un adaptador.



Cámara Sony PXW-Z450. Fuente: Sony.

Sony ofrece también un modelo de cámara de mano, la PXW-Z150, y en la gama de cámara fotográficas *mirrorless*, la Alfa 7S, una cámara *full frame* con excelentes resultados en bajas condiciones de luz.



Cámara Sony PXW-Z150. Fuente: Sony.



Cámara Sony Alfa 7S. Fuente: Sony.



Cámaras 4K de Panasonic

Para cinematografía digital, Panasonic ofrece la gama Varicam, unas cámaras de altas prestaciones que continúan la tradición de modelos anteriores que se usaron mucho con la llegada de la HD, por su curva de gamma logarítmica y los suaves tonos de piel que se consiguen.

La Varicam Pure ha sido la última en incorporarse a la gama y se caracteriza por grabar únicamente archivos Raw a través de un grabador de Codex. En este [vínculo](#) se puede acceder al artículo publicado en 709 MediaRoom sobre las pruebas realizadas por Tommie Ferreras y Luis Ochoa



Cámara Panasonic Varicam Pure. Fuente: Panasonic

La Varicam 35 permite la grabación en códecs internos procesados (familia AVC Intra 4K, 4:4:4) y en *raw* sin compresión en grabador externo del fabricante inglés Codex. Destaca por su doble ISO nativa (800 y 5.000) que facilita el trabajo con alta sensibilidad y bajos niveles de ruido. Permite además, como otros fabricantes, la grabación simultánea de varios códecs (*online* y *offline* para la edición y *dailies*) lo que simplifica enormemente los flujos de trabajo. A esto se une la posibilidad de emplear *software* externos para corrección de color monitorizada en tiempo real desde la cámara (*live grading*).

709 MediaRoom también estuvo probando esta cámara y publicó dos artículos que se pueden consultar en los siguientes vínculos: [Parte I](#) (Rafa Roche) y [Parte II](#) (Luis Ochoa).



Cámara Panasonic Varicam 35. Fuente: Panasonic.



Grabador Codex para la cámara Panasonic Varicam 35. Fuente: Codex.

En la familia Varicam encontramos también la LT, una versión de tamaño reducido.



Cámara Varicam LT. Fuente: Panasonic.

Como cámara de mano tienen la AU-EVA1 con resolución 5,7K y sensor de super 35mm.



Cámara AU-EVA1. Fuente: Panasonic.

En la gama de cámaras de estudio 4K tienen en el catálogo la AK-UC3000 que incorpora un sensor capaz de generar una señal Ultra HD de hasta $3.840 \times 2.160/60p$.



Cámara AK-UC3000 de Panasonic. Fuente: Panasonic.

Otro modelo interesante de Panasonic es la cámara AG-DVX200. Se trata de una cámara *handheld*, de óptica fija, con excelentes prestaciones, orientada a producciones de televisión, documentales y ficción con presupuestos moderados.

En este [vínculo](#) se puede consultar la presentación de la cámara que publicó 709 MediaRoom en su estreno.



Cámara AG-DVX200 de Panasonic. Fuente: Panasonic.



Como cámaras fotográficas *mirrorless* preparadas para grabar vídeo en 4K tienen las Lumix GH, muy populares por tener un precio asequible y porque permiten grabar internamente en 4K, *raw*, 4:2:2, 10 bits con curva de gamma pseudologarítmica.



Cámara Panasonic Lumix DC GH5. Fuente: Panasonic.

Cámaras 4K de Canon

Canon es una marca con mucha tradición, no solamente en fotografía sino también en el mercado de la televisión. Fueron pioneros en 2008 (con la EOS 5D) en grabación de vídeo con cámaras fotográficas DSLR de sensor grande de 35 mm *full frame*.

la EOS C700 FF es una cámara *full frame* que graba 5,9K, con sobremuestreo para garantizarla calidad de las grabaciones en 4K. Una cámara capaz de grabar archivos 4K Raw a 12 bits a través de un grabador CODEX adicional e internamente en tarjeta C-fast 2.0 con resolución 4K con el codec XF-AVC, 10 bits, 4:2:2.



Cámara Canon CANON EOS C700 FF Fuente: Canon.

Para cinematografía digital, también tienen la C500 que graba 4K en un grabador externo en *raw* con el códec CanonRaw.



Cámara Canon EOS C500. Fuente: Canon.

También tienen en el mercado una cámara más ligera orientada a la cinematografía: la C300 Mark II, con 15 f-stops de rango dinámico y un sensor de Super 35 mm.



Cámara Canon C300 Mark II. Fuente: Canon.

Recientemente también han incorporado a la gama la EOS C200 con un códec nuevo llamado Cinema Raw Light.



Cámara Canon C200. Fuente: Canon.



En una gama de producto inferior, pero todavía en la resolución 4K, se sitúa la Canon 1D C, una excelente cámara con altas prestaciones.



Cámara Canon EOS-1D C. Fuente: Canon.

Por último, en cámaras fotográficas con capacidad de grabación de vídeo 4K encontramos una amplia oferta de equipos, empezando por la mítica 5D Mark IV. En la gama *mirrorless* está la EOS-R con sensor *full frame* que permite utilizar la curva de gamma Canon Log. Como dato interesante de este nuevo equipo es que dispone de una salida HDMI 4K a 10 bits sin comprimir.



Cámara Canon EOS R. Fuente: Canon.

Blackmagic, cinematografía digital de bajo presupuesto

Blackmagic dispone de un catálogo de cámaras que graban en 4K y resoluciones superiores. Son muy competitivas en cuanto a precio, pueden grabar en *raw* (con compresión o sin ella) o en ProRes /DNx, con curvas de gamma logarítmicas y con 14 f-stops de rango dinámico, por lo que resultan muy atractivas para proyectos de cine de bajo presupuesto.

La URSA Mini Pro tiene un sensor Super 35 mm y graba 4.6K. Cuenta con filtros de densidad neutra integrados, montura intercambiable, compatibilidad con el formato Blackmagic RAW,



ranuras para tarjetas CFast y SD UHS-II que facilitan la captura de imágenes a un máximo de 300 f/s y un puerto de expansión que permite grabar por más tiempo directamente en unidades flash o SSD.



Cámara Blackmagic URSA Mini Pro 4.6K G2. Fuente: Blackmagic.

El modelo Micro Cinema Camera es cámara miniaturizada con un sensor Super 16 mm, que ha sido diseñada para permitir su manejo a distancia. Ideal para grabar con drones. Entre sus prestaciones se destacan la grabación de archivos en formato RAW y ProRes, el rango dinámico de 13 pasos y la montura Micro Cuatro Tercios.



Cámara Blackmagic Micro Cinema Camera. Fuente: [Blackmagic](https://blackmagic.com).

La Pocket Cinema Camera 4K tiene un sensor cuatro tercios con 13 f.stops de rango dinámico. Las imágenes se graban en tarjetas SD/UHS-II o CFast 2.0, con formato Blackmagic RAW o ProRes y una frecuencia máxima de 120 f/s.



Cámara Blackmagic Pocket Cinema Camera 4K. Fuente: [Blackmagic](https://blackmagic.com).



Otras cámaras 4K

En este apartado vamos a reseñar algunas cámaras 4K de otros fabricantes.

La **Panavision** DXL y DXL 2 se posicionan en la gama más alta de cámaras para cinematografía digital. Es una cámara 8K que utiliza el mismo sensor que la Red Weapon.

El tamaño del sensor es ligeramente más grande que el *full frame* y un poco más pequeño que el sensor de 65 mm de la Alexa 65. Puede grabar en 8K *raw* y, simultáneamente, *proxys* en 4K (ProRes y DNx).



Cámara Panavision DXL. Fuente: Panavision.

Aja Cion es una cámara de cine digital que puede grabar 4K en Apple ProRes 4:4:4 a 30 fps o a través de una salida AJA Raw hasta 120 fps.



Cámara Aja Cion. Fuente: Aja.

Kinefinity es un fabricante chino que tiene cámaras de producción profesional de altas prestaciones. La Mavo LF tiene sensor *full frame* con resolución 6K y graba con códecs raw Cinema DNG y KineRaw.



Cámara Kinefinity Mavo LF. Fuente: Kinefinity.

Vision Research es un fabricante especializado en grabación con altas frecuencias de fotogramas por segundo. En la gama más alta de producto tienen la Phantom Flex 4K que puede grabar hasta 1.000 fps, pero también tienen cámaras para televisión orientadas a las retransmisiones deportivas.



Cámara Phantom Flex 4K. Fuente: [Vision Research](http://www.visionresearch.com).

Para producción de televisión 4K, **Ikegami** tiene el modelo UHK-430 4K.



Cámara UHK-430 4K. Fuente: Ikegami.



JVC tiene *camcorders* de mano en 4K a precios muy competitivos. Cabe destacar el modelo GY-LS300CHE con sensor de Super 35 mm, curva de gamma logarítmica y salida HDMI 4K 4:2:2.



Cámara JVC GY-LS300CHE. Fuente: JVC.

Tabla de cámaras 4K

En el siguiente [enlace](#) se puede descargar en formato pdf una tabla que recoge las características técnicas de algunas cámaras para producción 4K que hemos citado en esta sección.

Para acceder a la zona de descargas de la web de 709 MediaRoom es necesario crear una cuenta de usuario.

| FABRICANTE | MODELO | SENSOR | RES. (MÁX.) | RANGO DINÁMICO | LOG. | RAW | CODEC (MÁX.) | MUEST. (MÁX.) | MÁS INFORMACIÓN |
|------------|------------------------|---|------------------------|----------------|------|--|---|---------------|--|
| AJA | CION | CMOS APS-C [22,5 x 11,9 mm.] | 4096 x 2160 120 fps | 12 f-stops | Si | Aja Raw via 4x 3G-SDI grabación externa | ProRes 4444 | 444 | aja.com |
| ARRI | ALEXA 65 | CMOS A3X 65 mm. [54,12 x 25,59 mm.] | 6560 x 3102 27 fps | >14 f-stops | Si | ArriRaw | ProRes | 444 | arrientalgroup |
| ARRI | ALEXA XT | CMOS Super35 4 perf. (4:3) ARRI ALEV III | 4096 x 2636 | >14 f-stops | Si | ArriRaw | ProRes | 444 | arri.com |
| ARRI | AMIRA | CMOS Super35 ARRI ALEV III C | 3840 x 2160 | >14 f-stops | Si | No | ProRes | 444 | arri.com |
| BLACKMAGIC | URSA mini | CMOS Super35 (4.6 K) [25,34 x 14,25 mm.] | 4608 x 2592 60 fps. | 15 f-stops | Si | CinemaDNG RAW - 513MBps | 3840 x 2160 ProRes 444 XQ 250 MBps | 444 | Blackmagic |
| BLACKMAGIC | URSA | CMOS Super35 (4.6 K) [25,34 x 14,25 mm.] | 4608 x 2592 60 fps. | 15 f-stops | Si | CinemaDNG RAW 3:1 180 MBps | 3840 x 2160 ProRes 444 XQ 250 MBps | 444 | Blackmagic |
| BLACKMAGIC | MICRO STUDIO CAMERA 4K | CMOS Super 16 [13,056 x 7,344 mm.] | 3840 x 2160 30 fps. | 12 f-stops | Si | CinemaDNG Raw con compresión | ProRes 422 HQ | 422 | Blackmagic |
| BLACKMAGIC | PRODUCTION CAMERA 4K | CMOS Super35 [21,12 x 11,88 mm.] | 3840 x 2160 30 fps | 12 f-stops | Si | CinemaDNG Raw con compresión | ProRes 422 HQ | 422 | Blackmagic |
| CANON | EOS C500 | CMOS Super35 [diag. 29,9 mm.] 8,85 Mpix. | 4096 x 2160 60 fps | 12 f-stops | Si | CanonRaw 10 bits (grabación externa) | XF Codec | 422 | Canon.es |
| CANON | EOS C300 MARK II | CMOS Super35 9,84 Mpix | 4096 x 2160 59,94 fps | 15 f-stops | Si | CanonRaw 10 bits (grabación externa) | XF-AVC; MPEG-4 AVC; H.264; 410 MBps. | 444 | usa.canon |
| CANON | EOS 1 DC | CMOS Full frame 35 [36 x 24 mm.] 18,1 Mpix. | 4096 x 2160 25 fps | | Si | No | Motion Jpeg 8 bits | 422 | canon.es |
| CANON | XC10 | CMOS 1.0-inch [diag. 16 mm.] 13,36 Mpix. | 3840 x 2160 29,97 fps | 12 f-stops | Si | No | XF-AVC; MPEG-4 AVC; H.264; 305 MBps. | 420 | usa.canon |
| GOPRO | HERO 4 BLACK EDITION | CMOS 12 Mpix. | 3840 x 2160 30 fps | | No | No | H.264; MP4 60 MBps. (Max.) | 420 | Gopro.com |
| IKEGAMI | UHK-430 4K | 3 CMOS de 2/3" | 3840 x 2160 | | Si | | SDI Output 4K(3G-SDI x 4) | | Ikegami |
| JVC | GY-HMQ10U | CMOS 1/2.3" 8,3Mpix. | 3840 x 2160 60 fps | | No | No | MPEG-4 AVC; H.264 (MP4) 144 MBps. (Max) | 420 | Jvc.com |
| JVC | LS300CHE | CMOS Super 35 13,5 Mpix. | 3840 x 2160 29,97 fps. | | No | no | MPEG-4 AVC / H.264 150 MBps | 420 | JVC |
| KINEFINITY | KINEMAX 6K | CMOS super 35 | 5760 x 3240 25 fps | 16 f-stops | Si | KineRaw 12 bits; CinemaDNG sin compression 12 bits | Cineform | 444 | Kinefinity.com |

Vínculo a la web de [709 MediaRoom](#). En la sección 'descargas' se puede acceder a la tabla de cámaras actualizada. Es necesario hacer 'login' con una cuenta de usuario (sin coste ni publicidad).



Tarjetas de memoria y grabadores externos

Los sistemas de grabación tienen que ser capaces de soportar los flujos de transferencia del códec que se está utilizando. El módulo de grabación puede estar integrado en la cámara o ser un grabador independiente, externo a la cámara.

Todos los sistemas de grabación utilizan memoria de estado sólido, ya sean tarjetas o discos. Las diferencias entre unas tarjetas de memoria y otras son la capacidad y la tasa de transferencia, es decir, la cantidad de material que pueden grabar y la calidad de los códecs que se pueden usar.

Codex es el líder en sistemas de grabación *raw* y ha colaborado con los principales fabricantes de cámaras de gama alta (Arri Alexa, Panasonic Varicam, etc.).

En las cámaras profesionales se utilizan distintos tipos de tarjetas como las C-fast 2.0, SxS Pro, SRMemory, P2, etc.



Opciones de Arri Alexa para grabación interna: tarjetas Codex SxS y C-fast. Fuente: [StudioDaily](http://StudioDaily.com).

Para el mercado masivo se suelen utilizar las tarjetas SD que no alcanzan la tasa de transferencia de un archivo 4K de alta calidad.

Algunos fabricantes de cámaras están ofreciendo la posibilidad de grabar internamente con dos códecs simultáneamente en dos tarjetas diferentes. El de alta calidad en una tarjeta de memoria de estado sólido y en una tarjeta SD unos *proxys* que sirven para visionado y montaje *offline*.

También es frecuente la utilización de grabadores externos. Se pueden utilizar para grabar el material de alta calidad del *online* o bien para grabar los *proxys* de la edición *offline*, o para cualquier necesidad de grabación o reproducción tanto en rodaje como en postproducción. En rodaje, en ocasiones, se utilizan para monitorización, cuando permiten cargar una LUT para ver material logarítmico con un preajuste de color y contraste.



Para 4K están disponibles entre otros el Odyssey7Q+, de Convergent Design y los Shogun de Atomos. Ambos dan soporte a las distintas cámaras profesionales del mercado y tienen la opción de cargar varias LUT para monitorización o para la grabación. Las pantallas HDR alcanzan hasta 1.500 nits de brillo y 10 f-stops de rango dinámico.



Grabador externo Odyssey7Q+. Fuente: Convergent Design.



Grabador externo de Atomos: Shogun inferno. Fuente: Atomos.

Atomos tiene otros modelos con funcionalidad HDR y procesamiento 10 bit: el Sumo que tiene una pantalla más grande y los Ninja que son económicamente más asequibles.



Rodney Charters en el vídeo de presentación del Atomos Sumo. fuente Atomos



Con algunas cámaras profesionales se utiliza el grabador externo para grabar el códec de edición *online*, ya sea el material *raw* o un códec de imagen procesada. Algunos modelos de Arri, la Varicam 35 de Panasonic y la cámara de Canon C500 utilizan este flujo de trabajo. Internamente en la cámara se graba un códec más pequeño (*proxy*) que se utilizará para el montaje *offline*. Las nuevas cámaras Arri han integrado un grabador propio para el material *raw*.

Pero también se puede plantear la cuestión a la inversa: el grabador externo se utiliza para grabar el códec de *offline* mientras la cámara graba en el códec de mayor calidad; por ejemplo, las cámaras Red graban internamente el *raw*.

Con las cámaras DSLR se utiliza el grabador externo para un códec procesado de buena calidad, como puede ser ProRes, que servirá como material definitivo para el montaje *online*. La Sony Alfa 7S, con un grabador externo, permite grabar el material *raw*.

Otro uso del grabador externo es 'lutear' la señal, es decir, cargar una LUT que modifique el color y el contraste de la imagen. Si la cámara no ofrece la posibilidad de poner una LUT en las salidas SDI, la imagen puede llegar en logarítmico al grabador externo donde se le asigna una LUT. Esta señal corregida se puede utilizar para la monitorización en el set.

Se pueden utilizar también estos grabadores en postproducción para grabar una señal SDI en tiempo real. Se puede obtener, por ejemplo, una copia ProRes a partir de la salida SDI de I/O Box del ordenador. El inconveniente es que se pierde la precisión del código de tiempo, solo se graba la señal de vídeo, no los metadatos. Este procedimiento puede servir perfectamente para entrega a cliente de una copia en ProRes o DNxHR.

Algunos de estos grabadores (como muchos modelos de Atomos) incorporan en sus monitores las EOTF de HDR para poder hacer una previsualización en rodaje.



Postproducción

En este apartado se repasan los requisitos de [hardware](#) y [software](#) para la postproducción de las imágenes.

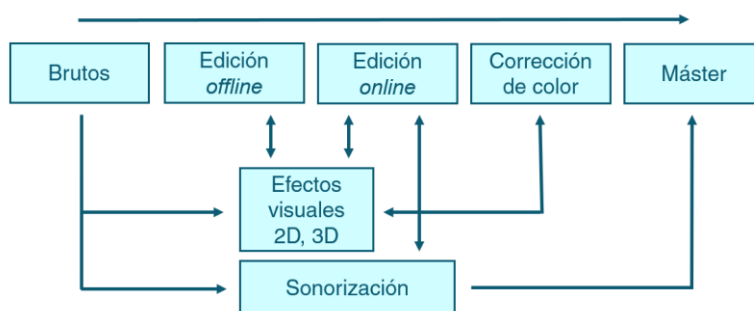
El flujo de trabajo de la postproducción de un proyecto en 4K no es, en principio, distinto al de uno en HD o en 2K. Cada proyecto requiere un procedimiento singular en función de muchos factores, entre ellos, las personas que tienen que realizar el trabajo. Lo más importante es favorecer la creatividad de los técnicos y artistas implicados.

El proceso de la postproducción audiovisual comienza con la edición *offline*, donde se toman las decisiones de montaje que afectan a la narrativa. Este trabajo se realiza con copias de baja calidad que pueden circular sin dificultad por sistemas informáticos de bajo costo, dando así la oportunidad al realizador y al montador de utilizar todo el tiempo necesario para el proceso creativo.

Posteriormente se conforma el premontaje en el sistema *online*, ya con las imágenes de alta calidad. En esta etapa de la postproducción se incorporan al montaje final los efectos visuales y los elementos gráficos, es decir, se abordan las tareas de composición digital que implican la superposición de varias capas para crear una imagen final unitaria. En paralelo se realizará el trabajo de sonorización y mezclas de sonido.

Para el acabado de la parte visual de la obra se pasa por un proceso de corrección de color y masterización.

En el siguiente gráfico se presenta de forma esquemática el flujo de trabajo genérico para la postproducción de un proyecto audiovisual.



Esquema básico del flujo de trabajo de la postproducción.

‘Hardware’ para la postproducción 4K

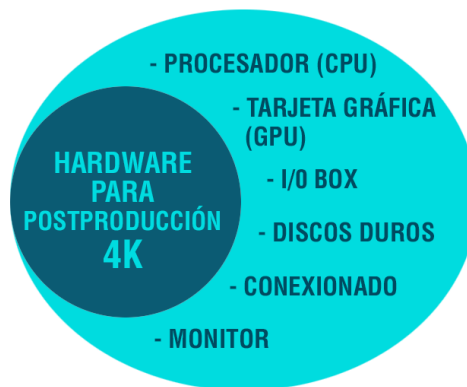
Como hemos visto en los apartados anteriores, en 4K hay una gran diversidad de formatos y codecs: imágenes *raw*, códecs de imagen procesada a distintos tamaños, con o sin compresión, de cine digital, de televisión, de consumo, etc. Cuando se dice que una máquina de postproducción mueve 4K, ¿a qué nos estamos refiriendo? Cualquier ordenador puede mover un fichero 4K en H.264 a 4:2:0, pero no todos pueden procesar el material grabado por una



cámara de cine digital. Esta es la primera pregunta que hay que plantear para definir una configuración de postproducción 4K: ¿con qué tipo de material se va a trabajar?

Dependiendo de los códecs se optará por unas características de hardware o por otras; habrá que potenciar la parte del procesador o de la tarjeta gráfica; asegurarse de que los discos, las tarjetas y las conexiones sean capaces de soportar los flujos de transferencias que generan los archivos con los que se quiere trabajar y comprobar que la monitorización del 4K responde al espacio de color y la resolución que requiere el proyecto.

Los componentes críticos del *hardware* de postproducción 4K son: [el equipo informático](#), [los procesadores](#), [las tarjetas gráficas \(GPU\)](#), [las tarjetas de reproducción y captura \(I/O Box\)](#), [los discos duros](#), [el conexionado](#) y [los monitores](#).



Componentes clave del hardware para postproducción 4K.

Equipo informático, ¿PC o Mac?

La postproducción en 4K se puede hacer con multitud de máquinas, tanto en Mac como en PC. Con un iMac Pro o con un Mac Pro se puede mover 4K con normalidad, especialmente con un Mac Pro con una configuración de gama alta.

El nuevo Mac Pro de 2019 incluye hasta 1,5 terabytes de RAM, 8 puertos PCIe (4 de doble espacio) y módulo especial MPX para tarjetas gráficas.



Mac Pro. Fuente: Apple.



En cuanto al precio no hay tanta diferencia entre un PC de gama alta, que cumpla con los requisitos para 4K, y un Mac equivalente. La diferencia está fuera del equipo, por ejemplo, cuando hay que comprar un RAID (*Redundant Array of Independent Disks*) de discos duros externos conectados por Thunderbolt para el Mac. En un PC se pueden poner los discos dentro de la caja con un considerable ahorro económico. Si se necesitan 20 TB de discos duros la diferencia es muy relevante, aunque no es tanto una cuestión de dinero como de ‘escalabilidad’. Actualmente los PC aportan mucha más flexibilidad, pero realmente no se sabe cómo va a evolucionar la tecnología.



Estación de trabajo HP preparada para postproducción. Fuente: HP.

Una ventaja de Mac es que los desarrolladores de *software* tienen más facilidad para optimizar los programas para esta plataforma. En el mundo PC hay una gran oferta de procesadores y tarjetas gráficas diferentes y, por lo tanto, el esfuerzo para optimizar el *software* a las distintas configuraciones es mucho más alto. Esto explica la ventaja competitiva tradicional de Apple: las cosas funcionan bien antes y son más estables.



iMac con pantalla retina 5K. Fuente: Apple.

A la hora de tomar una decisión sobre una plataforma PC o Mac, otro factor a considerar es el programa de edición/postproducción con el que se va a trabajar y los códecs del material. Veamos algunos ejemplos que pueden influir en un sentido o en otro:



- Final Cut Pro es un *software* de Apple que no tienen versión para PC. Además, no soporta todavía muchos de los códecs de 4K.
- Los códecs ProRes vienen por defecto instalados en los Mac. Para codificarlos en un PC hay que pagar una licencia a Apple (solo para hacer la exportación, no para leerlos). Los códecs de Avid DNxHR, sin embargo, se pueden instalar libremente en cualquiera de las dos plataformas.

Procesadores y tarjetas gráficas GPU

Generalizando un poco, pero en base a las pruebas realizadas, se puede decir que lo mínimo que se necesita para poder mover los códecs profesionales 4K son procesadores de 12 núcleos (compute cores). A partir de unos 24 núcleos, los códecs raw de mayor resolución (6 y 8K) se reproduce en tiempo real sin problemas.



Procesador Intel Xeon. Fuente: Azken.

Para las tarjetas gráficas GPU hay que verificar si el programa que se va a utilizar es multi-GPU o no. Con DaVinci Resolve, en la versión completa, se pueden utilizar varias tarjetas GPU, pero la mayoría de los programas (Avid o Premiere) solo ven una. En estos casos será necesario tener la tarjeta más potente que se pueda. Para trabajar con Quantel o con DaVinci, que pueden utilizar varias tarjetas, será más interesante tener varias GPU de un coste unitario inferior.



Instalación con tres tarjetas GPU NVIDIA GeForce GTX Titan. Fuente: Guru3D.



Dada la creciente mejora de las tarjetas gráficas a costes relativamente bajos, la tendencia en el desarrollo de aplicaciones de postproducción es incorporar la capacidad multi-GPU.

El problema aparece cuando se utilizan varios programas en el mismo equipo. Si por ejemplo se usa DaVinci y Avid, será imprescindible tener por lo menos una tarjeta muy potente, la principal, que funcionará con todos los programas.

Algunos equipos están configurados con una tarjeta gráfica pequeña que actúa como tarjeta principal y varias GPU más potentes para acelerar los procesos. Con DaVinci esta configuración funcionará muy bien, pero para los programas que solo ven una tarjeta no sirve, ya que el *software* solo verá la tarjeta pequeña.

En general, lo más estable es tener todas las tarjetas iguales y no hacer mezcla de modelos de tarjeta GPU. Conviene elegir el modelo más potente que se pueda para que los programas que solo vean una tarjeta vean una buena.

Para 4K están las tarjetas GPU de NVIDIA y de ADM (ATI). A pesar de que ADM tiene tarjetas muy buenas parece ser que NVIDIA es la tendencia con más futuro.



Tarjeta GPU NVIDIA Quadro P5000; Tarjeta GPU NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti.; Tarjeta AMD Radeon™ Pro WX9100.

En la siguiente tabla están los enlaces a las páginas comerciales de estas tarjetas:

| Tarjetas gráficas GPU (Graphic Processing Unit) | |
|---|---------------------------------|
| NVIDIA | Nvidia GeForce |
| | Nvidia Quadro |
| ADM Radeon | AMD Radeon™ Pro |

Hemos realizado una prueba con DaVinci y las tarjetas NVIDIA Quadro K4200Q y GTX 980, instalando la Quadro como principal y la 980 de procesamiento. El resultado, sorprendentemente, es que tenemos menos rendimiento que utilizando solo la 980, parece que una penaliza a la otra, pero poniendo las dos iguales funciona mucho mejor.



Una cuestión importante cuando se hacen pruebas es la monitorización. Si se hacen las pruebas con material 4K pero monitorizando en HD, muchos equipos son capaces de reproducir a 25 fps, pero cuando se saca la señal en 4K, la frecuencia de reproducción baja a 6-8 fps.

Las pruebas para obtener estas conclusiones se han realizado con DaVinci Resolve y han sido posibles gracias a la colaboración de las empresas [Azken Muga](#), [Tangram Solutions](#), [Zona IV Producciones](#) y [WhyOnSet](#).

Sistemas de almacenamiento: RAID y discos SSD

Con el volumen de datos que se maneja en postproducción, la velocidad de los discos duros del sistema es un factor fundamental, tanto para soportar el flujo de transferencia que genera la simple reproducción de un archivo 4K como para los procesos de copiado y *render*. Hay dos tecnologías que se utilizan para alcanzar las velocidades necesarias: los discos duros configurados en RAID y los discos duros de estado sólido (SSD, *Solid-State Drive*).

Cuando se dispone de varios discos se pueden configurar para que el sistema operativo los vea como uno solo. Hay dos tipos de configuración:

- RAID. Es una estructura de discos que optimiza la velocidad de transferencia y gestiona la grabación redundante, es decir, que hace copias de seguridad. La información se escribe en cualquiera de los discos que forman el RAID.
- JBOD (*Just a Bunch Of Disks*). Es una configuración de varios discos que el sistema ve como uno solo. La información se escribirá primero en uno y después en el siguiente. La ventaja de JBOD es que si un disco falla no se pierden todos los datos, solo los del disco afectado. Pero no ofrece los beneficios de aumento de velocidad de la configuración RAID.



Sharkoon 8-Bay RAID Station USB 3.0, Caja Externa USB. Fuente: Sharkoon.



Disco duro Seagate Barracuda 2 TB (Serial ATA III, 3,5"). Fuente: Seagate.



En una estructura de RAID hay muchas ventajas, pero la fundamental es el incremento de la tasa de transferencia. Para explicarlo rápidamente, aunque no es completamente exacto, la tasa de transferencia se multiplica por el número de discos que están conectados. Por ejemplo, si un disco conectado de forma independiente soporta un flujo de transferencia de 100 MB/s, con 8 discos conectados en una estructura de RAID 0 se alcanzarán 800 MB/s de tasa de transferencia⁷, por lo tanto, el aumento de velocidad es enorme. Los niveles de RAID (0, 1, 2, 3, etc.) aportan distintas configuraciones de las copias redundantes de la información para proporcionar mayor fiabilidad al sistema.



Configuraciones RAID para 4 y 6 discos con conexión Thunderbolt. Fuente: [Pegasus](#).

Otra importante innovación que se ha implantado con fuerza es el disco de estado sólido (SSD). Los discos SSD son el presente y el futuro, puesto que multiplican la tasa de transferencia por siete o incluso por ocho en algunos casos. Por ejemplo, para mover códecs 4K *raw* comprimidos, generalizando, se necesitan unos 700 u 800 MB/s. Esto se puede conseguir con una estructura de RAID de 8 discos. Un RAID de 4 discos puede resultar pequeño, sin embargo, un solo disco de estado sólido de 700 MB/s de velocidad puede reproducir sin problemas este tipo de archivos. Aunque no todos los discos de estado sólido alcanzan estos valores, hay discos SSD más lentos, por ejemplo, limitados a 400 MB/s.



Discos duros de estado sólido SSD. Fuente: ScanDisk.

Haciendo un RAID de discos de estado sólido se alcanzan velocidades espectaculares. El problema es el precio, ya que estos discos son muy caros y tienen menos capacidad que los

⁷ En este ejemplo hemos utilizado la unidad de medida MegaByte por segundo (MB/s) que es 8 veces más (1B=8b) que Megabit por segundo (Mbit/s). En teoría, cuando se habla de espacio de almacenamiento se utiliza los Bytes (B) y cuando se habla de tasa de transferencia se emplean los bits (b), pero en la práctica se utilizan ambas unidades de medida indistintamente.



discos duros convencionales. Para alcanzar una capacidad de 10 o 20 TeraBytes (TB) con discos SSD, el coste se dispara.

Los discos de estado sólido se utilizan mucho en los rodajes. Las tarjetas que utilizan las cámaras son en realidad este tipo de discos. Permiten a las cámaras la tasa de transferencia que necesitan. Una cámara no necesita mucha capacidad de almacenamiento porque puede ir cambiando las tarjetas cuando se llenan. Además, los discos SSD son más estables que los discos duros convencionales porque no tienen componentes móviles, no se calientan y por lo tanto son ideales para rodaje. En postproducción es más habitual utilizar configuraciones de discos en RAID.

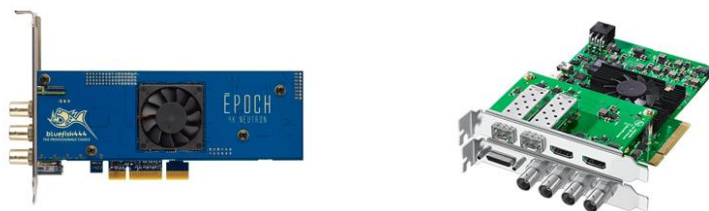


Tarjetas de memoria CFAST 2.0 que se pueden utilizar con la cámara Arri Alexa. Fuente: [Arri](#).

Tarjetas de captura y reproducción: 'I/O Box'

Una I/O Box (input/output Box) o tarjeta de captura y reproducción, es un elemento de hardware con conexiones para entrada y salida de vídeo y audio con calidad profesional. Para vídeo, las entradas y salidas más fiables son las SDI (*Serial Digital Interface*).

Puede ser una tarjeta interna o un dispositivo externo. Los ordenadores no vienen con salidas de vídeo SDI porque en el mundo de la informática no se necesitan, pero para trabajar con vídeo profesional es necesario incorporar una tarjeta de este tipo.



Tarjetas Epoch 4K Neutron de Bluefish 4:4:4 (a la izquierda) y DeckLink 4K Extreme 12G de Blackmagic (a la derecha). Fuente: [Bluefish 444](#) y [Blackmagic](#).

Para 4K, las tarjetas más utilizadas son las de AJA, las de Bluefish y las de Blackmagic. Las tres son compatibles con la mayoría de los programas profesionales de postproducción de vídeo y corrección de color.



Tarjeta AJA para 4K Thunderbolt. Fuente: [Aja](#).

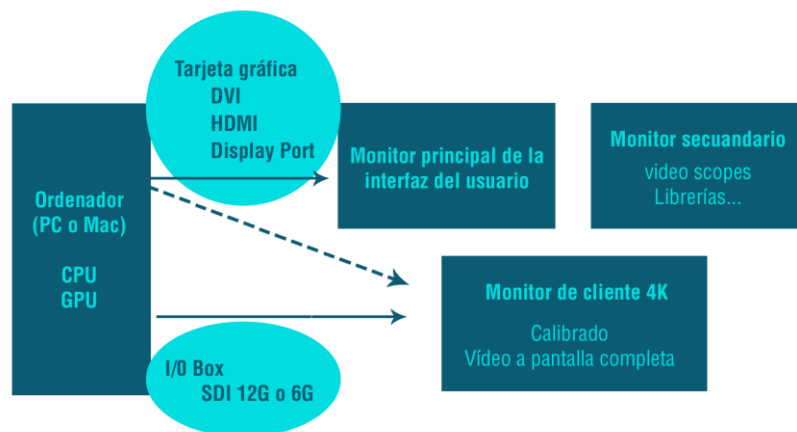


En la siguiente tabla están los vínculos a las páginas comerciales de estos fabricantes de tarjetas de captura y reproducción con capacidad para gestionar una salida de monitor 4K.

| Tarjetas de captura y reproducción | |
|------------------------------------|---|
| AJA | AJA 4K I/O for Thunderbolt™ 2 |
| Bluefish | Bluefish 444 |
| Blackmagic | DeckLink |

Tarjetas de captura y reproducción (I/O Box).

En un sistema de postproducción o corrección de color tenemos que diferenciar las salidas de la tarjeta gráfica (que proporcionan la señal para los monitores de la interfaz de usuario) de la salida de vídeo de la *I/O Box*, en la cual vemos la calidad final de nuestro trabajo, es decir, la salida de vídeo que enviamos al ‘monitor de cliente’.



Conexión de los monitores de la interfaz de usuario y el monitor de cliente.

En el monitor de cliente se ve la imagen con toda su resolución y es el monitor de referencia que está calibrado. Se conecta a la *I/O Box* que proporciona una salida de vídeo a pantalla completa y muestra el resultado final tal y como lo verá el espectador.

En las *I/O Box* hay que tener en cuenta tres cuestiones:

- Tamaño de fotograma (resolución espacial)
- Frecuencia (resolución temporal)
- Tipo de conexión
- Muestreo y profundidad de color



En cuanto al tamaño del fotograma tenemos que comprobar si la salida de la *I/O Box* nos ofrece el 4K de DCI o el de la televisión Ultra HD. Hay muchos conectores como el HDMI que solo llegan al 4K de Ultra HD (3.840 x 2.160). Con lo cual no se podrá monitorizar 4K DCI (4.096 x 2.160).

Otro aspecto fundamental es el número de fotogramas por segundo que puedan reproducir. En 4K se trabaja con resoluciones temporales superiores, como por ejemplo 48 fps, 50 fps o 60 fps. Estas velocidades no las soportan todas las tarjetas ni todos los sistemas de conexionado. Por ejemplo, una tarjeta puede tener una salida por SDI que llegue a 4K DCI hasta 25 fps, pero no podrá mostrar un material a 50 o 60 fps.

En relación con el conexionado, estas tarjetas ofrecen salidas SDI, DVI, HDMI, Display Port o Thunderbolt. Cada una de estas conexiones tendrá unas características y unos límites de tasa de transferencia que habrá que analizar detenidamente. En el apartado de [conexionado](#) se encuentran las tablas que detallan la capacidad de cada conector.

Para configurar un sistema de postproducción preparado para 4K es muy importante asegurarse de que el conexionado de salida de la *I/O Box* y el de la entrada del monitor utilizan la misma norma y son plenamente compatibles. También es necesario verificar la profundidad de color (8, 10, 12 bits), el tipo de señal (RGB o componentes YUV/ Y, Pb, Pr) y si se emplea el submuestreo de color (4:4:4; 4:2:2; 4:2:0).



Sala de color con monitorización y proyección 4K. Sala Contraluz

Conexionado

El conexionado es un elemento a considerar detenidamente para que no se convierta en un cuello de botella. Que los conectores no sean los adecuados afectará al tiempo que se tarda en hacer una copia o un *render*, que en 4K es cuatro veces más que en HD. Pero también para una simple reproducción de un archivo *raw* en 4K se necesita alcanzar una tasa de transferencia muy alta y los conectores tienen que ser capaces de soportarla.



Esto hay que unirlo a lo que ya se ha comentado de la velocidad de los discos. Un único disco duro conectado por Thunderbolt seguirá siendo lento a pesar de utilizar un conexionado de alta velocidad. En este caso el límite lo marca la velocidad del disco. En el sentido contrario, un RAID-0 de ocho discos, si está conectado por USB 2.0 será lento porque el conexionado no soporta la velocidad que puede alcanzar el sistema de almacenamiento.

Los conectores para datos más rápidos que soportan los flujos de transferencia del 4K son Thunderbolt, SAS, USB 3 y SATA.



Conectores Thunderbolt, SAS, SATA y USB 3 / Micro USB 3.

En la siguiente tabla se pueden ver las distintas versiones de estos conectores y la velocidad máxima de transferencia que son capaces de alcanzar.

| Conectores de datos | | | |
|---------------------|---------|-------------------------|--|
| | Versión | Velocidad máxima | Vínculo a Wikipedia |
| USB 3 | 3.0 | 4,8 Gbit/s (0,62 GB/s) | Universal Serial Bus (USB) |
| | 3.1 | 10 Gbit/s (1,25 GB/s) | |
| SAS | 1 | 3 Gbit/s (0,37 GB/s) | Serial attached SCSI (SAS) |
| | 2 | 6 Gbit/s (0,75 GB/s) | |
| | 3 | 12 Gbit/s (1,5 GB/s) | |
| Thunderbolt | 1 | 10 Gbit/s (1,25 GB/s) | Thunderbolt (interface) |
| | 2 | 20 Gbit/s (2,5 GB/s) | |
| | 3 | 40 Gbit/s (5 GB/s) | |
| SATA | I | 1,5 Gbit/s (0,150 GB/s) | Serial ATA (SATA) |
| | II | 3 Gbit/s (0,300 GB/s) | |
| | III | 6 Gbit/s (0,600 GB/s) | |



Los monitores de la interfaz de usuario se conectarán a la tarjeta gráfica principal del sistema. El monitor de cliente puede ir conectado también a esa tarjeta (la GPU) o bien a la tarjeta de reproducción y captura (la *I/O Box*). Dependiendo de los programas utilizarán las salidas de una u otra. Por ejemplo, Assimilate Scratch utiliza las salidas de la tarjeta gráfica y DaVinci Resolve las de la *I/O Box*.

Los conectores para monitorización que soportan 4K son: SDI, HDMI y Display Port. Cada uno de ellos tiene distintas versiones que se diferencian en su tasa de transferencia y por lo tanto en el tipo de señal que pueden transportar.



Conector HDMI, Display Port y BNC (para SDI).

Conectores para monitores en 4K

| | Versión | Tasa de transferencia en Gbit/s | Ejemplo de formatos de vídeo |
|--------------|------------------|---------------------------------|---|
| HDMI | 1.4 | 8,16 Gbit/s | 4.096 × 2.160 (24 fps) 3.840 × 2.160 (30 fps) |
| | 2.0 | 18 Gbit/s | 4.096 × 2.160 (50/60) |
| Display Port | 1.2 | 17,28 Gbit/s | 3.840 × 2.160 (60 fps) |
| | 1.3 | 32,4 Gbit/s | 7.680 × 4.320 (60 fps) 4:2:0 4K; 60 fps; 30-bit; 4:4:4 |
| SDI | 3G SDI | 3 Gbit/s | 1.920 × 1.080 |
| | 6G Ultra HD-SDI | 6 Gbit/s | 3.840 × 2.160 (30 fps) |
| | 12G Ultra HD-SDI | 12 Gbit/s | 3.840 × 2.160 (60 fps) |

Para el conexionado por SDI del 4K se utiliza una tecnología que divide la señal en dos o cuatro cables. De esta forma se consigue alcanzar los flujos de transferencia que requiere la producción profesional en 4K. A través de un 12G-SDI una señal puede viajar por un solo cable 4K, pero si el conexionado es 6G-SDI necesitaremos 2 cables (*dual link*) y si es 3G-SDI serán necesarios 4 cables (*quad link*).

Lo más habitual, tanto en cámaras como en monitores para 4K, es el Quad SDI. En la siguiente imagen se puede ver el módulo de salida SDI de una cámara Red que utiliza 4 cables de 3G-SDI.



Módulo de salida SDI para cámaras Red a través de cuatro cables BNC de 3G-SDI. Fuente: Red.

Monitores

En monitorización 4K podemos diferenciar las pantallas de ordenador, los monitores profesionales *broadcast*, los televisores y los proyectores. La oferta es todavía limitada y no siempre se encuentran las prestaciones profesionales que cabría esperar a un precio asequible. Los monitores de vídeo profesionales tienen un coste muy elevado y los televisores del mercado de consumo no cumplen las expectativas: entradas SDI, capacidad de seleccionar distintos espacios de color, opciones de calibrado, etc.

En la monitorización 4K entran en juego cuatro factores fundamentales:

- Resolución. El monitor tiene que ser capaz de presentar de forma fiable todos los píxeles del material original con las distintas relaciones de aspecto del 4K. ([Resolución espacial](#)).
- Espacios de color. Tiene que ser capaz de trabajar en los distintos espacios de color normalizados para la producción audiovisual: BT-709, DCI-P3, BT-2020 y ACES. Esto, a día de hoy, no se cumple todavía puesto que ACES y BT-2020 están en una fase inicial. ([Gamut de color](#)).
- Rango dinámico. Los monitores de masterización tienen que servir de referencia para los nuevos estándares de HDR. ([Rango dinámico](#)).
- Tamaño de representación, es decir, tamaño de la pantalla. Para la corrección de color se utilizan monitores cuando se trabaja para televisión y proyectores cuando se trabaja para cine. De esta forma se crean unas condiciones de visionado similares a las que se encontrará el usuario final.

Los monitores de ordenador también participan en la carrera del aumento de la resolución y el tamaño de las pantallas. Un monitor de ordenador de 4K puede resultar incómodo para trabajar si las interfaces de los programas y los sistemas operativos no están todavía bien adaptados a esta nueva resolución. Por otra parte, el ratón tiene que tener una configuración muy rápida y sensible para poder desplazarse por toda la superficie de la pantalla. La ventaja es que el espacio disponible para la interfaz es muy amplio y resulta muy cómodo para colocar todas las ventanas y menús disponibles. A un Mac Pro o a un PC se les pueden conectar cualquier monitor 4K. En 2019 Apple ha sacado al mercado el Pro Display XDR con 6k de resolución y capacidad HDR que se sitúa en la gama más alta de monitores.



Monitor de ordenador 4K de LG. Fuente: LG.

Un monitor profesional de vídeo, o un monitor *broadcast*, es un equipo que tiene entrada de vídeo SDI y que permite seleccionar el espacio de color y la curva de gamma con la que se quiere trabajar. Todavía hay muy poca oferta para este tipo de monitores y son muy caros.

Hay un equipo de Canon que soporta el gamut de color BT-2020 casi completo, es el DP-V3010 grado 1 de 30 pulgadas, pero su precio es muy elevado. Sony tiene un modelo un poco más asequible, el Trimaster PVM-X300, que aunque no llegue a cubrir entero el gamut BT-2020, es un monitor de alta calidad.



Monitor profesional 4K Canon DP-V3010. Fuente: [Canon](https://www.canon.es).



Gama de monitores profesionales OLED de SONY. Trimaster EL 4K



Canon también tiene un monitor 4K portátil, DP-V2410, que se puede adaptar a cualquier espacio de color y cargar las LUT convirtiéndolo en una herramienta fundamental para el rodaje ya que, con el modo HDR (400 cd/m²), permite ver todo el rango dinámico de las imágenes que se están produciendo.



Monitor profesional portátil 24" de Canon DP-V2410. Fuente: Canon.

La conocida marca de monitores profesionales Flanders Scientific también ofrece modelos 4K HDR en la serie XM.



Monitores profesionales flandersscientific

Para los espacios de color DCI-P3 y BT-709 y los nuevos estándares HDR hay monitores de vídeo profesionales a precios más asequibles en Sony, TV Logic, NEC, Eizo, BenQ, HP y otros fabricantes.

En la siguiente tabla hemos incluido vínculos a las páginas comerciales de estas primeras referencias.



| Monitores profesionales de vídeo | | |
|----------------------------------|---------------------------|--|
| Canon | 4K UHD reference Displays | Canon DPV |
| Sony | Trimaster 4K | sony.es |
| Flanders Scientific | Serie XM | flandersscientific |
| Eizo | ColorEdge | eizo.com |
| BenQ | BL series | benq color management |
| HP | Dream Color | hp.com |
| NEC | SpectraView | nec display solution |
| TV Logic | Monitor Series | TV Logic |

Los televisores 4K que se están comercializando en el mercado de consumo masivo no están pensados para la monitorización profesional. Lo mismo ocurre con los proyectores de cine de la gama *prosumer*. No obstante, son la única opción posible para presupuestos un poco más ajustados.



Proyector multimedia 4K Canon XEED 4K500ST. Fuente: Canon.



Proyector 4K Sony VPL-VW500ES para home cinema. Fuente: Sony.



‘Software’ para la postproducción 4K

Para el desarrollo de esta sección hemos considerado las siguientes categorías de software:

- [Edición de vídeo](#)
- [Composición y efectos visuales \(VFX\)](#)
- [Programas de generación de gráficos 3D \(CGI\)](#)
- [Corrección de color y procesos finales](#)

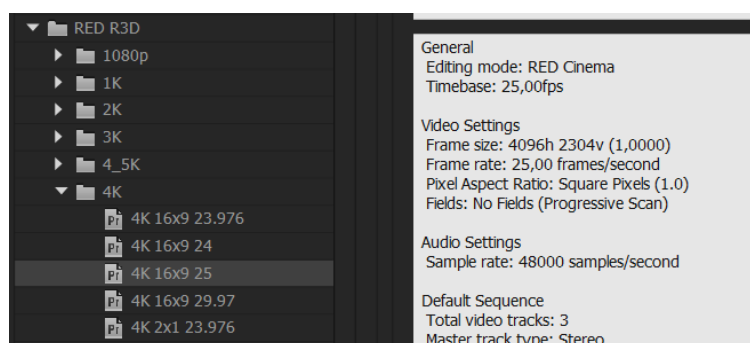
Casi todos los programas profesionales de edición y postproducción pueden trabajar en 4K. Es necesario comprobar que los códecs están soportados por cada uno de los sistemas, pero, en principio, con un *hardware* adecuado, se puede crear y editar un proyecto en 4K.

Para conseguirlo, los programas juegan con dos estrategias que se pueden combinar entre sí:

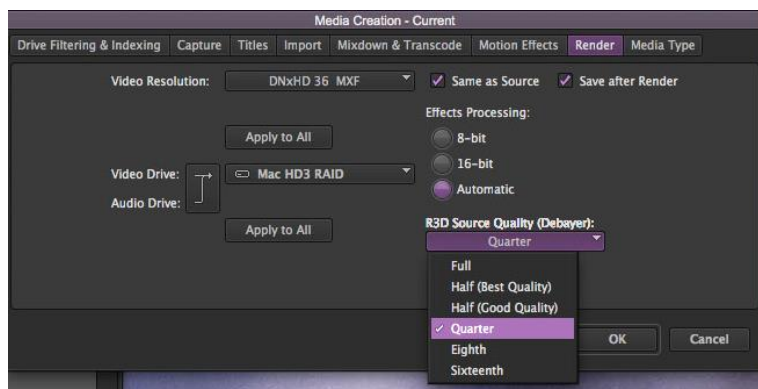
- Bajar la calidad de la monitorización. Si el monitor que está conectado al sistema es HD, no es preciso mostrar toda la resolución del material. No se verá el 4K pero el equipo irá mucho más ligero.
- Trabajar con un *proxy*, es decir, hacer una transcodificación de calidad más baja para los ‘previos’. La mayoría de los programas hacen un *proxy* en HD.

Con estos dos parámetros unidos, en montaje estaremos trabajando con un *proxy* HD y viendo el resultado en un monitor, también en HD. Solamente se utiliza la potencia del 4K en el momento de hacer el *render* para la codificación del máster. Como la gran mayoría de los monitores no son 4K, tampoco hay una merma de calidad de trabajo puesto que no se puede ver toda la resolución espacial del 4K.

De esta forma, es normal que los programas de edición de vídeo no tengan dificultades para soportar una línea de tiempo 4K porque en realidad están operando en una calidad más baja. Esto ocurre no solamente con los programas para la edición *offline* sino también en *online* y corrección de color.



Creación de una nueva secuencia en 4K con los códecs de Red en Premiere Pro CC.



Ajustes de Avid para generar proxy a partir de material 4K. Fuente: Digitalfilms.

Cuando se empiezan a multiplicar el número de capas y efectos en un plano, los programas de composición o corrección de color no pueden mostrarlo todo en tiempo real. Es necesario codificar 'previos' para poder ver el resultado. Los programas profesionales permiten configurar la calidad de esos 'previos', o 'proxys de resolución'. Se utilizan como referencia empleando distintos parámetros de calidad y tamaño para que sean fiables desde el punto de vista del color o de la resolución. Cuando sea necesario, se harán los *renders* en alta calidad para comprobar los resultados reales.

Cuando el sistema tiene una tarjeta de salida 4K para el monitor de cliente y se hace una monitorización de referencia con toda la calidad, aparecen muchas dificultades: los altos flujos de transferencia que se generan son difíciles de manejar.

Nuestra experiencia con DaVinci Resolve, en un PC de nivel intermedio-alto, con una salida 4K Ultra HD dirigida a un proyector 4K, es bastante negativa. Para que DaVinci funcionara con fluidez fue necesario bajar la monitorización a HD. Solamente en momentos puntuales se cambió la monitorización a resolución plena para hacer comprobaciones, pero el día a día de la corrección de color se realizó con monitorización HD.

Con estas estrategias se consigue que la postproducción en 4K no sea tan cara. Aunque no sean procedimientos ideales, hay muchas maneras para permitir que, con un equipo sencillo y una inversión razonable, se pueda abordar la postproducción de un proyecto 4K.

Programas de edición de vídeo

En un programa de edición, para un proyecto en 4K, se puede elegir la opción de trabajar con el material en alta calidad o bien con *proxys*, es decir, con copias ligeras del material con una calidad reducida.

Los sistemas de edición más extendidos son Premiere, Avid, Final Cut Pro y DaVinci Resolve.



Logotipos de Premiere, Avid, Final Cut Pro y DaVinci Resolve

Premiere tiene una interfaz de usuario muy buena, con mucha implantación en el mercado y está integrada en un paquete de aplicaciones que cubre todas las tareas de la postproducción: gráfica, sonido, composición, etc. Es probablemente el sistema de edición más popular hoy en día. No obstante, la política comercial de alquiler anual de la licencia a un precio bastante elevado resta atractiva a este programa.



Interfaz de Premiere Pro. Fuente: Adobe.

Avid tiene mucha implantación en el sector profesional. Su fuerte se encuentra en los sistemas de almacenamiento y los códecs de intermediación más que en la interfaz de usuario, que menos intuitiva que la de sus competidores. Sin embargo, siempre ha sido y sigue siendo el sistema más fiable. Recientemente está llevando a cabo una estrategia de acercamiento a las nuevas generaciones a través de una versión gratuita del programa, Media Composer|First, y con acuerdos con universidades y centros de formación para la enseñanza del software.



Sistema de edición Avid. Fuente: Avid.



Final Cut Pro es de Apple e intermedia en ProRes. Esta es su ventaja competitiva, aunque los DNxHR de Avid son tan buenos o mejores que los Apple ProRes. Una limitación de Final Cut Pro es que no se puede instalar en un PC y no soporta algunos de los códecs Raw de las cámaras profesionales de cine digital. El cambio de interfaz que hicieron hace años con la versión X no resultó muy popular y les hizo perder cierto volumen de usuarios, a pesar de ser una buena interfaz para ciertos usos.



Interfaz de Final Cut Pro. Fuente: Apple.

DaVinci Resolve se ha implantado con fuerza a pesar de que ha llegado hace pocos años al escenario de los sistemas de edición de vídeo profesional. Era un sistema de primer nivel en corrección de color hasta la versión 15 que ya ofrecía un sistema de edición robusto y competitivo. La versión 16, tanto en su opción gratuita como la de pago, es una alternativa perfectamente válida a nivel profesional con una interfaz de usuario muy intuitiva y fácil de usar.



Interfaz del editor DaVinci Resolve. Fuente: Blackmagic Desing.

Programas de composición y efectos visuales (VFX)

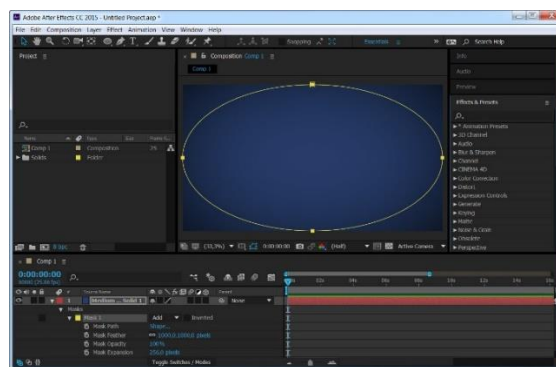
Con los programas de composición y de efectos visuales, como norma general, no se trabaja en calidad *offline* sino que se utiliza el material con la máxima calidad posible.

Para presentar los 'previos' en el monitor de cliente, los programas de composición suelen hacer una caché en RAM en lugar de hacer un archivo de media para los 'previos' con un códec de



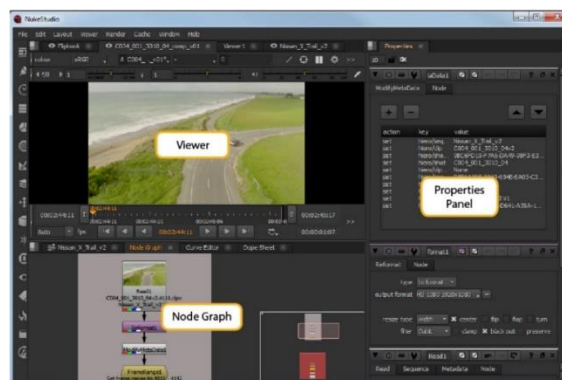
intermediación, es decir, cargan en RAM los fotogramas de la secuencia y se lanza desde allí la reproducción. De esta forma siempre se puede monitorizar el material con toda su calidad. La limitación de esta técnica es que no se puede reproducir de forma continuada toda la línea de tiempo, pero para secuencias de pocos segundos funciona perfectamente. Es la misma dinámica que los *renders* de 'previos' en los programas de 3D que veremos más adelante.

After Effects, de Adobe, es el estándar en cuanto a composición por capas en línea de tiempo y está muy extendido para animaciones de *motion graphics* incluso se pueden hacer trabajos de composición muy complejos y en alta calidad. Tiene como punto fuerte la facilidad de vinculación con el sistema de edición Premiere y los demás programas del paquete de Adobe a través del *Dynamic Link*.



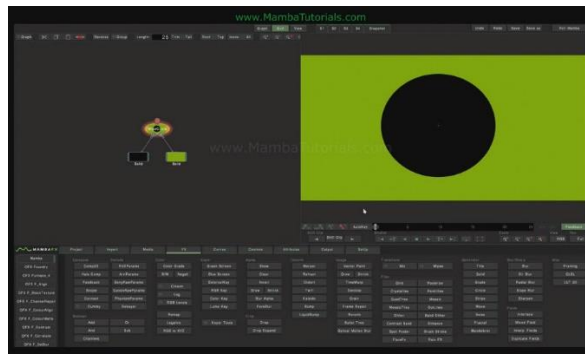
After Effects. Fuente: Adobe.

Nuke, de The Foundry, es el estándar en composición por nodos y efectos visuales para cine. Siendo reduccionistas, After Effects estaría más vinculado al mundo de la televisión y Nuke al del cine.



Nuke. Fuente: The Foundry.

Mamba es la apuesta de SGO para composición nodal. Entra en competencia directa con Nuke pero a un precio mucho más bajo.



Mamba FX. Fuente: SGO.

Fusion, de Blackmagic, es otro programa de composición nodal que entra en competencia con Nuke. Tiene una versión independiente (*stand alone*) y una versión integrada en el sistema DaVinci Resolve. La versión *stand alone* tiene un precio muy competitivo y la versión integrada en DaVinci es gratuita y suficiente para muchas producciones. Por lo tanto, es probable que se extienda rápidamente su uso.



Fusion. Fuente: Blackmagic.

Flame, de Autodesk, es también un sistema de composición nodal muy vinculado al mundo publicitario.



Flame. Fuente: Autodesk.



Programas de 3D (CGI)

La creación de imágenes con programas de 3D (CGI, *Computer Graphic Imagery*) es un mundo aparte. Para este tipo de programas, la resolución 4K es un factor que se aplica en el momento de hacer el *render*, es decir, la exportación a vídeo. A mayor resolución espacial más tiempo de *render* para generar el material.

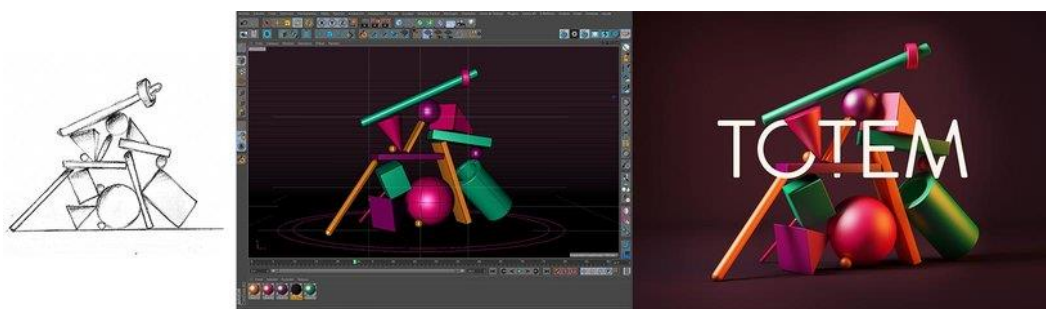
Los flujos de trabajo para las imágenes 3D han evolucionado para evitar hacer de una sola vez todos los procesos de *render* en favor de lo que se ha llamado *multi-pass render*. Con esta técnica los sistemas de 3D generan archivos separados de las distintas capas que conforman un objeto: formas, texturas, luces, sombras, reflexiones, máscaras, etc. La integración final de todas estas capas se hace en los sistemas de composición. Este procedimiento permite ajustar minuciosamente la integración de los elementos 3D en el sistema de edición *online* o en el de corrección de color.

Los programas de Autodesk, Maya, 3D Max o Flame, están muy extendidos para cine y televisión. Maya es el programa más utilizado para efectos visuales cinematográficos y 3D Max está dirigido a un grupo más amplio de usuarios.



VFX de Juego de Tronos realizados con Maya. Fuente: Autodesk

Cinema 4D, de Maxon, se ha posicionado en los últimos años para *motion graphics* y televisión.



Cinema 4D. Fuente: Zigor.



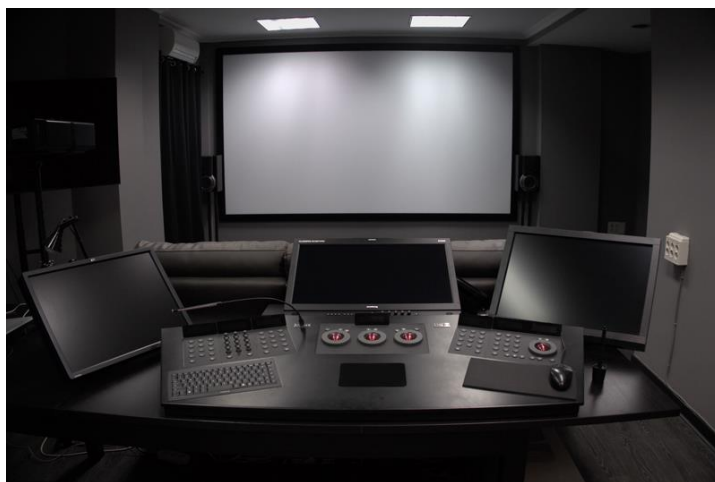
Procesos finales y corrección de color

Los programas de corrección de color y de procesos finales (*finishing*) son sistemas de edición *online* que trabajan con el códec nativo de cámara o el material *raw* para poder extraer los máximos niveles de calidad. Recibirán también para su integración final los materiales que se hayan generado en el departamento de efectos visuales y gráficos 3D. Si se utilizan códecs de intermediación se elegirán los más altos de los disponibles.

Por lo tanto, también se darán situaciones en las que no se pueda reproducir el material en tiempo real, precisamente por el gran tamaño de los formatos que se utilizan. En estos casos se utilizará la misma estrategia que en los sistemas de edición *offline*: se realizarán, cuando sea necesario, las transcodificaciones de referencia para 'previos' en una calidad inferior que permitan una reproducción fluida de la continuidad de las secuencias. La monitorización en calidad plena se hará con fragmentos cortos.

Para conseguir mayor fluidez en el sistema es habitual trabajar en 4K, pero monitorizando en HD. La monitorización es uno de los cuellos de botella del 4K ya que los monitores profesionales 4K son todavía demasiado caros y los televisores 4K que venden para el mercado doméstico no son fiables. Es preferible un buen monitor profesional HD bien calibrado que un televisor o monitor de ordenador 4K.

DaVinci Resolve, de **Blackmagic**, es uno de los programas para corrección de color más utilizados. Están centrando sus esfuerzos en mejorar las herramientas de edición y composición para acercarse al modelo de los programas de procesos finales (*finishing*), a pesar de que su posicionamiento inicial es la corrección de color y la masterización. También se utiliza cada vez más para la corrección de color en el set de grabación ya que soporta prácticamente todos los códecs de cámara. Uno de los motivos de su fuerte implantación es que ofrecen una versión gratuita, que tiene casi todas las funcionalidades de la versión de pago. La última mejora que han incorporado al programa es la edición de sonido con las herramientas Fairlight y de VFX con la herramienta Fusion, además de mejorar las posibilidades de edición.



Estación de trabajo DaVinci Resolve. Fuente: Sala Contraluz

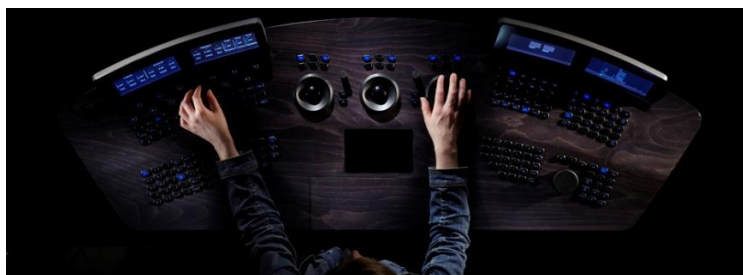


SGO es una empresa española que ha conseguido posicionarse en el mercado mundial con **Mistika**. La lista de grandes producciones de Hollywood que han utilizado este sistema es impresionante. Uno de sus puntos fuertes, que ha ayudado a su implantación, es ser la mejor herramienta del mundo para postproducción en 3D estereoscópico. Esta ventaja competitiva ha hecho que muchas producciones muy importantes hayan elegido Mistika como programa de edición *online*, corrección de color y masterización. Actualmente es posible emplear Mistika desde plataforma Linux (Mistika Ultima) o Windows/Mac OS (Mistika Boutique)



Sistema de postproducción Mistika. Fuente: SGO.

Baselight, por su parte, es una de las mejores herramientas de corrección de color/etalonaje, con un elegante y complejo sistema de gestión de color. Cuenta con estación independiente de distintos niveles y *plugins* para Avid, Final Cut Pro, Nuke y Flame



Consola para corrección de color con Baselight. Fuente: Filmlight.



Sistema Baselight de corrección de color de cine en 4K en Forestt Studios, Beijing.
Fuente: [Filmlight](#).



Para la masterización de cine y la producción de copias de distribución, la herramienta más implantada es **Clipster**, de Rohde & Schwarz, un equipo muy potente y rápido en los procesos de transcodificación, que incorpora funcionalidades de edición, composición y corrección de color. También Transkoder de Colorfront cubre estas necesidades.



Sistema de masterización Clipster. Fuente: Rohde & Schwarz.



Sonido para UHD y 4K

El sonido es una pieza fundamental para la mejorar de la experiencia de usuario ante los contenidos audiovisuales. Hemos entrevistado a [Sergio Márquez](#), de [Nómada Media](#), que generosamente ha compartido con nosotros sus conocimientos y nos ha ayudado a plasmar en esta sección las claves para el registro, postproducción y difusión del sonido para cine y el vídeo de ultra alta definición.



Vamos a comenzar describiendo los parámetros de calidad del sonido digital: [frecuencia de muestreo](#) (*Sample Rate*) y [profundidad de bits](#) (*Bit Depth*). A continuación, abordamos una cuestión fundamental: [la sonoridad](#) (*loudness*) que nos acerca a conceptos como el [rango dinámico del sonido](#) y la [compresión dinámica](#).

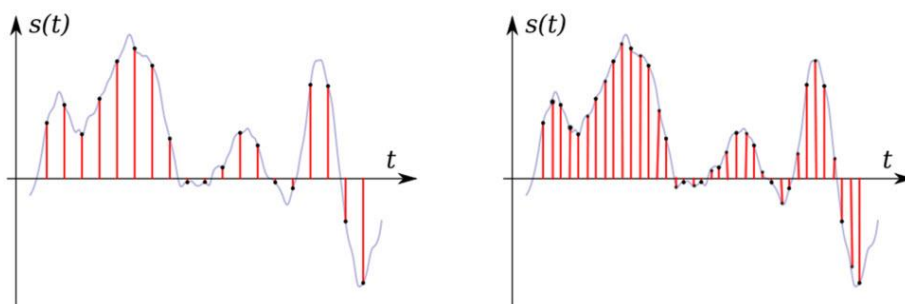
Una vez expuestas estas bases teóricas repasaremos los distintos [códecs para sonido envolvente](#) que se están utilizando o desarrollando para el cine 4K y el vídeo de ultra alta definición. Lo hemos organizado en cinco apartados:

- [Los inicios del audio digital para cine](#)
- [Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos](#)
- [Sonido para salas de exhibición de cine](#)
- [Códecs Sonido para televisión en UHD y Blu-ray](#)
- [Códecs de sonido para difusión por internet](#)

Frecuencia de muestreo (*Sample Rate*) y profundidad de bits (*Bit Depth*)

Los dos parámetros técnicos que definen la calidad de una señal digital de sonido son la frecuencia de muestreo y la profundidad de bits.

La frecuencia de muestreo (*Sample Rate*) es el número de muestras que se toman por segundo para generar la señal digital. Se expresa con un valor de ciclos por segundo en kilohercios (kHz).



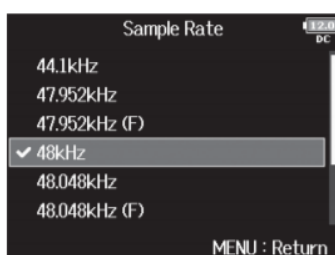
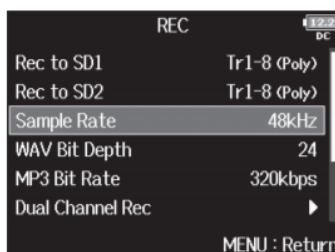
Representación de dos valores distintos de frecuencia de muestreo. El eje horizontal representa el tiempo y el vertical el valor de la señal de audio. Fuente: Progenerator.

La frecuencia de muestreo que se utiliza para registrar y procesar el sonido viene determinada por la capacidad sensorial de los seres humanos: se considera que podemos escuchar los sonidos que se sitúan entre 20 y 20.000 Hz. Según el teorema de Nyquist, es necesario que la frecuencia de muestreo sea superior al doble de la máxima frecuencia a muestrear. Por lo tanto, la frecuencia de muestreo ha de ser como mínimo de 40 KHz.

Los valores de frecuencia de muestreo que se utilizan habitualmente para sonido profesional son las siguientes:

| Frecuencia de muestreo | |
|------------------------|----------|
| Audio CD | 44,1 kHz |
| Broadcast / DVD | 48 kHz |
| DVD Audio / Blu-ray | 96 kHz |
| Blu-ray | 192 kHz |

En producción musical para CD se ha utilizado tradicionalmente 44,1 kHz por la limitación de la capacidad de almacenamiento del soporte. Pero en producción audiovisual se considera insuficiente este valor de frecuencia de muestreo. El estándar en producción audiovisual es 48 kHz. Las cámaras y los grabadores, desde la gama usuario hasta el nivel más profesional, utilizan esta frecuencia de muestreo. Es también el estándar para la difusión televisiva (*broadcast*) y para los discos DVD o Blu-ray. Igualmente, en captación de sonido directo, lo habitual es utilizar 48 kHz.



Menú de selección de la frecuencia de muestro de un grabador portátil de audio: Fuente: Zoom

En los estudios grabación y postproducción para audiovisual y cine de alta calidad, la tendencia es trabajar a 96 kHz. Aunque el material de sonido directo esté grabado a 48 kHz, el técnico hace la postproducción y la mezcla (*reverbs, delays...*) a 96 kHz. Este sobremuestreo aporta una serie de ventajas (mayor capacidad de alteración de un sonido original etc.) y permite dejar hasta el último momento la máxima calidad posible.

También en captación es cada vez más frecuente la grabación a 96 KHz, en tanto que los armónicos (múltiplos enteros que acompañan a cualquier frecuencia) son muy importantes para percibir con mayor naturalidad un sonido. Sobre todo, es fundamental el primer armónico (x2). Por ejemplo, cuando un violín emite una nota base de 15 kHz, su primer armónico es 30 kHz, y por lo tanto necesitamos 60 KHz de frecuencia de muestreo para poder capturarlo y reproducirlo. Por eso tiene sentido trabajar en un sistema completo de 96 KHz.

Las frecuencias de muestreo superiores, como 192 kHz, se utilizan en niveles 'audiófilos', en colecciones o sellos elitistas, como por ejemplo algunas grabaciones de música clásica de Deutsche Grammophon o en Jazz, las producciones de Chesky Records. Estas producciones intentan alcanzar la máxima calidad de sonido posible. Pero a nivel perceptivo, la mayoría de las personas no llegan a escuchar esta diferencia. En teoría por lo menos, una frecuencia de muestro de 48 kHz, es suficiente para registrar eficazmente la capacidad auditiva del ser humano.

La profundidad de bits (*Bit Depth* o cuantificación) es el número de bits que se utilizan para registrar cada una de las muestras. Cuantos más bits se utilicen, más información queda registrada y el archivo resultante ocupará más espacio en el soporte de la grabación. Por lo tanto, tiene que ver con la precisión de la muestra de audio que se cuantifica y con cuanta información se define.

Los valores que se utilizan habitualmente en audio profesional son los siguientes:



| Profundidad de bits (cuantificación) | |
|--------------------------------------|---------------------|
| Audio CD | 16 bits |
| Broadcast / DVD / Blu-ray | 16 bits |
| Sonido de alta calidad | 24 bits |
| Máxima calidad | 32 bits |
| Postproducción máxima calidad | 32 bit <i>float</i> |

En captación de sonido directo casi todo se hace en 24 bits, aunque queda una herencia, todavía fuerte, de 16 bits. Los equipos ya están preparados desde hace años para 24 bits y pueden grabar sin problemas a 32 bits.

La profundidad de bits está íntimamente relacionada con el [rango dinámico de audio](#). Es decir, con la capacidad de registrar con calidad los sonidos más leves y los de nivel más alto. La percepción humana del sonido se estima en 120 decibelios de rango dinámico y con 24 bits es más que suficiente para registrar estos valores.

En postproducción se puede hacer todo a 32 bits, a 32 bits coma flotante (*float*) e incluso algunas tarjetas gráficas a valores superiores. Pero lo más habitual es trabajar a 24 bits.

La representación en coma flotante (en inglés *floating point*) indica que para los cálculos que realiza el equipo, se van a utilizar tantos decimales como sea necesario para garantizar la preservación de la calidad original. En los equipos de postproducción de alta calidad se puede elegir esta opción.

Estas dos variables, **frecuencia de muestreo y profundidad de bits, dan como resultado un flujo de transferencia (*Bit Rate*)** que se mide en bits por segundo (b/s, Kb/s o Mb/s).

Los valores de flujo de transferencia con los que se suele trabajar en las distintas fases de la producción y difusión de sonido son los siguientes:

| Flujo de transferencia | |
|---|----------|
| Sonido mono comprimido MP3-64 (calidad insuficiente) | 64 Kb/s |
| Audio estéreo con compresión AAC (calidad suficiente) | 256 Kb/s |
| Dolby Digital 5.1 en DVD | 448 Kb/s |
| Audio estéreo PCM sin compresión (16bits; 48khz) | 1,5 Mb/s |
| Audio 5.1 PCM sin compresión (24bits; 48khz) | 7 Mb/s |
| DTS HD Master Audio 7.1 (24bits; 96 khz) | 24 Mb/s |

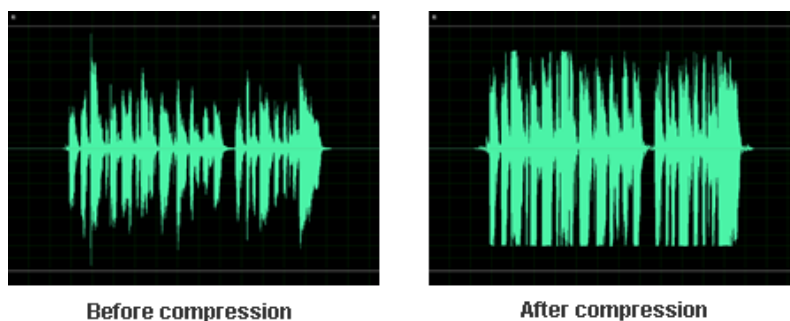
Más adelante profundizamos en el concepto de [rango dinámico del sonido](#). Pero primero tenemos que repasar la diferencia entre [compresión dinámica y compresión de datos](#).



Compresión dinámica / compresión de datos

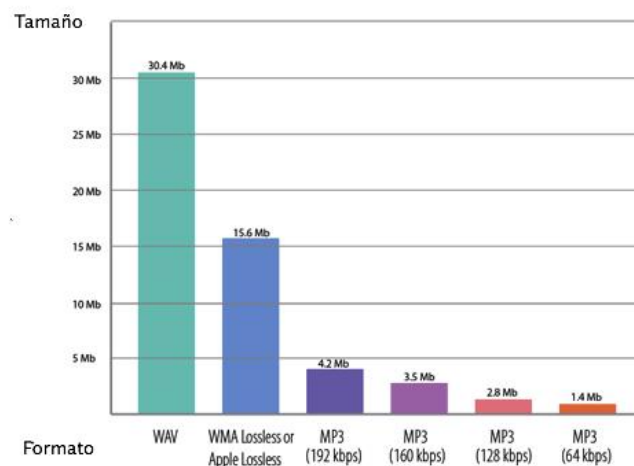
En sonido digital la palabra “compresión” se utiliza en dos contextos diferentes con significados muy distintos:

- 1) **Compresión dinámica.** En postproducción de sonido, la compresión es una manipulación de los niveles dinámicos de la señal que tiene como objetivo reforzar los sonidos más débiles y atenuar los más altos. Se utilizan los compresores dinámicos típicamente en radiodifusión y en música popular para aumentar la [sonoridad](#). Las producciones de sonido de alta calidad evitan el uso de compresores en favor del [rango dinámico](#).

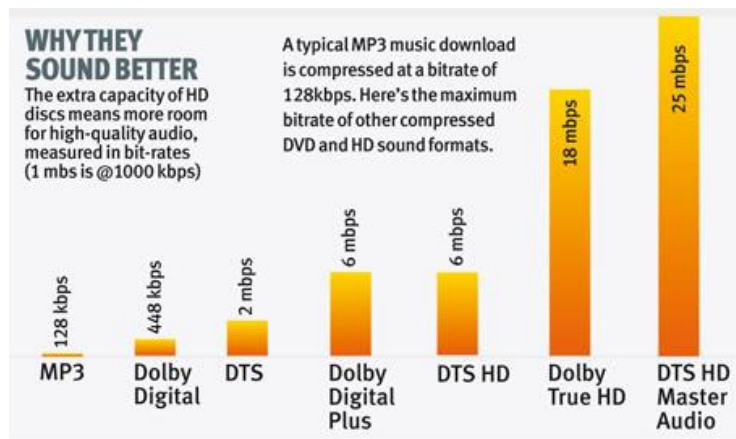


Compresión dinámica de una señal de audio. fuente: Articulate

- 2) **Compresión de datos.** Cuando se hace la codificación digital del sonido, la compresión es la reducción del tamaño de los archivos mediante unos algoritmos que llamamos ‘códecs de audio’. El ejemplo más conocido de compresión de datos para sonido es el formato ‘.mp3’, que reduce drásticamente el espacio que ocupa un archivo de audio en un disco duro, a costa de una pérdida de información y por lo tanto de la calidad. En difusión de sonido para cine la norma de compresión más extendida es ‘Dolby Digital’.



Compresión de datos MP3. fuente: Sarte Audio Elite



Compresión de datos en los formatos de máxima calidad. Fuente: The Media Server

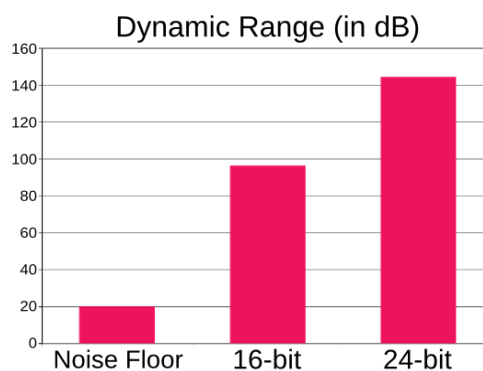
En la siguiente sección vamos a hablar de [sonoridad y rango dinámico](#) que son conceptos asociados a la compresión dinámica.

En el apartado dedicado a los [códecs de sonido envolvente](#) nos vamos a referir a la 'compresión de datos' en los estándares de sonido profesional de alta calidad.

Rango dinámico y sonoridad

El rango dinámico del sonido es la diferencia entre los valores de nivel más bajos y los más altos. Se mide en decibelios (db).

Existe una relación directa entre [profundidad de bits](#) y rango dinámico del sonido: cada bit que se emplea para generar la señal digital incrementa en 6 db la capacidad de registro de presión sonora. Con 16 bits se alcanzan 96 db de rango dinámico (6x16) y se amplía a 144 db para 24 bits (6x24). Este valor de rango dinámico es, en teoría, suficiente, puesto que la capacidad del ser humano para percibir el sonido se sitúa en torno a los 120 db. Por encima de 120 db se encuentra el umbral del dolor.



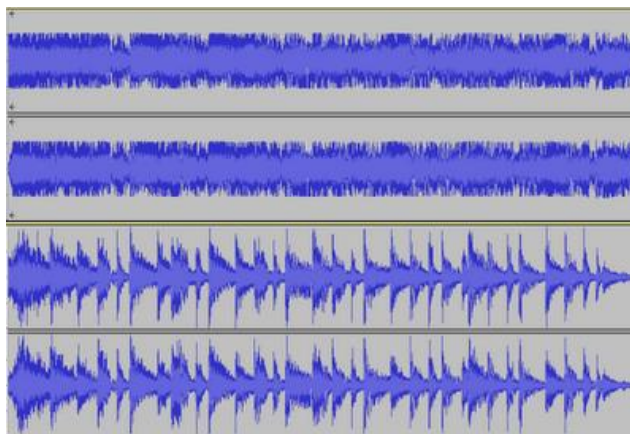
Capacidad de registro del rango dinámico en función de la profundidad de bit. Fuente: [Libremusicproduction](#).



En grabaciones de música clásica tiene mucho sentido utilizar 24 bits, ya que la diferencia de dinámica entre un *Piano-Pianissimo* y toda la orquesta tocando a la vez es muy grande.

En cine, también es muy importante el rango dinámico. En estudios de grabación de orquestas para bandas sonoras suelen preferir utilizar 32 bits para capturar más dinámica. Las excelentes condiciones de reproducción del sonido en una sala de exhibición permiten apreciar con claridad tanto los sonidos más leves como el estruendo de las escenas de acción.

Sin embargo, en radio o en televisión, se utilizan compresores para reducir el rango dinámico y el resultado es que no hay tanta diferencia entre los niveles de sonido más bajos y los más altos. Esta compresión dinámica se hace para aumentar la sonoridad (*loudness*) y ayudar a la inteligibilidad del sonido en condiciones críticas de audición, por ejemplo, al escuchar la radio en un coche o la televisión en un ambiente ruidoso. El resultado es que tanto los susurros como los gritos quedan a un nivel alto e inteligible. La víctima en este proceso es el rango dinámico y el resultado se aleja de la percepción natural del sonido.



Forma de onda de la señal sin comprimir (abajo) y con compresión dinámica (arriba).

Esta cuestión se hace patente en la sensación de volumen que tiene la publicidad en televisión. Los radiodifusores se han dado cuenta de que las mediciones de los picos de sonido no reflejan la sensación de volumen de un programa. Los productores de los anuncios hacen las mezclas de sonido con mucha compresión dinámica, sacrificando el rango dinámico en favor de una mayor sonoridad. Esto genera quejas de los usuarios y baja los estándares de calidad de sonido:

“Todo suena super-plano, y se hace una guerra de decibelios para ver quien suena más fuerte” ([Sergio Márquez](#))

La normativa europea EBU R 128 (2011) “Normalización de la sonoridad y nivel máximo permitido de las señales de audio” trata de poner orden en esta cuestión:

“The switch from audio peak-normalization to loudness normalization is probably the biggest revolution in professional audio of the last decades. It is important for broadcasters to be aware of the loudness paradigm and how to adopt their systems and working practices accordingly.” ([Roger Miles, EBU](#))



WLM loudness meter. fuente: [Waves](#)

“Lo importante no es quien suena más fuerte, sino que la película que están poniendo en televisión suene parecida a cómo se escuchaba en la sala de cine, es decir, con sus picos altos y sus pasajes de susurros. Tenemos la tecnología suficiente para tratar 120 db de rango dinámico. ¡Pues olvidémonos de estar sonando todo el rato a 100 db en TV! Procuremos respetar una dinámica apropiada para cada entorno.” ([Sergio Márquez](#))

“Si un compositor quiere transmitir ruido, agresividad, malestar, ira, etc.... parece buena idea hacer salvajadas con el sonido, pero si la razón es la de ‘es que no quiero sonar más bajo que los demás’, creo que es mejor que se vaya haciendo a la idea de que las reglas del juego han cambiado.” ([Ibon Larruzea](#))

Códecs para sonido envolvente

Códecs para sonido multicanal

Fantasia (1940, Walt Disney) es la primera película que experimentó con el sonido envolvente (*surround sound*) para cine. Desde entonces se han desarrollado muchos sistemas de sonido para mejorar la experiencia de usuario tanto en las salas de exhibición como en el hogar (*home cinema*).

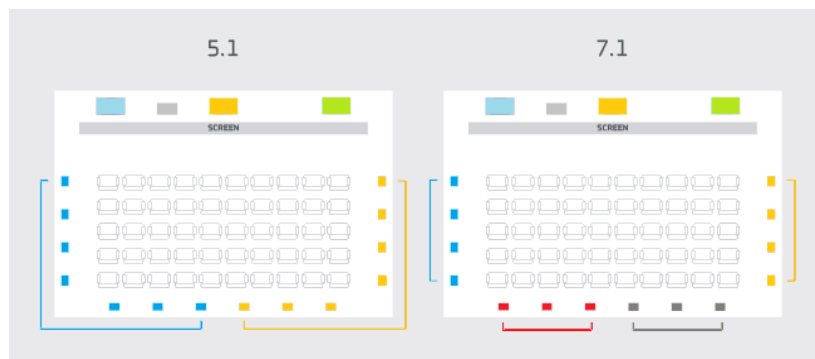


Colocación de los altavoces en un sistema multicanal de sonido envolvente para una sala de exhibición de cine. Fuente: [wikipedia](#)



En la actualidad, para cinematografía nos podemos encontrar con distintas configuraciones para sonido envolvente:

- L.C.R. (*left, center, right*): añade un canal central al clásico formato estéreo de la industria musical. Una variante, ya en desuso, es LCRS que utiliza un único canal surround.
- Surround 5.1: añade dos canales laterales (*surround left, surround right*) y un canal de subgraves (*subwoofer*).
- Surround 7.1: añade al 5.1 dos canales traseros (*rear left, rear right*).
- Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido por objetos: es una nueva concepción del sonido envolvente que no está basada en el número de canales sino en el posicionamiento espacial de cada fuente de sonidos.



El sistema 7.1 dedica dos canales independientes para el sonido trasero izquierdo y derecho diferenciados de los canales laterales. Fuente: [Tech Review](#)

En esta sección vamos a hacer un repaso de los códecs para sonido envolvente que se utilizan en cine y difusión de vídeo de ultra alta definición. Está estructurada en cinco apartados:

- [Los inicios del audio digital para cine](#)
- [Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos](#)
- [Sonido para salas de exhibición de cine](#)
- [Códecs Sonido para televisión en UHD y Blu-ray](#)
- [Códecs de sonido para difusión por internet](#)



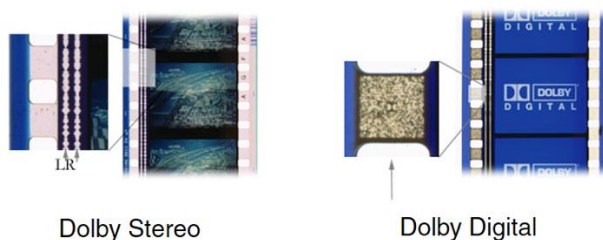
Los inicios del audio digital para cine

En los años previos a la proyección de cine digital (DCI) había tres sistemas de audio digital para salas de exhibición: Dolby, DTS y SDDS. Estos tres formatos solventaron las limitaciones técnicas para registrar, almacenar y procesar sonido digital; así como la sincronización del sonido digital con la proyección de película de 35 mm.

El primero en llegar en esta carrera fue 'Dolby Digital (AC-3)' que se estrenó en 1992 con *Batman Returns* (Tim Burton). Fue el primer sistema de audio multicanal digital 5.1 para cine. Era un códec con mucha pérdida de información, 10 a 1 (10:1), pero que discriminaba muy bien los sonidos más relevantes para el ser humano basado en su excelente codificación psicoacústica. Técnicamente era muy eficiente ya que lograba meter seis canales en 448 kb/s. Sin compresión, el equivalente serían casi 7 Mb/s.



La sincronización con la proyección se hacía imprimiendo las pistas de sonido en el celuloide. Esta técnica se llevaba usando desde los inicios del cine sonoro. En la siguiente imagen se puede ver la impresión de sonido analógico de 'Dolby Stereo', que se empezó a utilizar con *Star War* (1977, George Lucas), y la solución de Dolby Digital de los años 90 que empleaba el espacio de película entre las perforaciones para imprimir la señal de audio digital.



Impresión de las pistas de sonido en el celuloide: Dolby Stereo y Dolby Digital. fuente: [Brian Florian](#)

Justo después del lanzamiento de 'Dolby Digital', con *Jurassic Park* (1993, Steven Spielberg), apareció 'DTS Digital Theater System' que daba más calidad y utilizaba mucha menos compresión (3:1). Este incremento de calidad gustaba sobre todo a los directores y al equipo técnico-artístico responsable de la banda sonora, pero era más complejo y costoso. DTS utilizaba un sistema propio para sincronizar el audio digital con la proyección de la película de 35 mm mediante un código de tiempo impreso en el celuloide y unos discos CD.



El tercer sistema, 'SDDS Sony Dynamic Digital Sound', se lanzó con *Last Action Hero* (1993, John McTiernan) y estaba instalado sobre todo en las salas de exhibición que tenían acuerdos de distribución con Sony. Esta patente definió un primer sistema 7.1, que es distinto al que actualmente se utiliza: era una configuración de canales 7.1, ubicando detrás de la pantalla cinco de ellos (*Left, Left-Center, Center, Right-Center* y *Right*). Solo las grandes producciones de Hollywood mezclaban en este formato (principalmente Columbia Pictures, filial de Sony) que, además, al necesitar más altavoces y amplificadores era mucho más caro de instalar para el exhibidor.



De estas tres soluciones para el audio digital en salas de cine, Dolby, que llegó primero, consiguió convertirse prácticamente en el estándar de facto.

Años más tarde, cuando se sustituyeron los proyectores de película 35 mm por los sistemas digitales DCI, la sincronización del sonido dejó de ser un problema. El soporte de las películas pasó a ser un disco duro DCP con capacidad suficiente para almacenar y reproducir sonido sin compresión y se pudieron usar directamente los archivos en formato PCM (.wav) tanto para estéreo como para sonido envolvente 5.1 o 7.1.

A partir de entonces, para la proyección de cine digital, se puede hacer sonido multicanal sin pagar ningún tipo de licencia, ni royalties de patente alguna.

En la siguiente captura de pantalla se puede ver el menú del *software* 'OpenDCP' para la creación de un archivo de audio 7.1 para salas de cine: se parte de 8 canales mono en formato PCM (.wav) sin comprimir para generar un archivo MXF.



OpenDCP

JPEG2000 **MXF** Subtitles DCP

MXF Parameters

Type: WAV ☐ Enable Encryption

Label: SMPTE Key: 00000000000000000000000000000000

Frame Rate: 24 Key ID: 00000000-0000-0000-0000-000000000000

Sound Input Type

☒ Mono ☐ Multi-Channel

Sound Output Parameters

☐ Stereo ☐ 5.1 ☒ 7.1 ☐ Hearing/Visually Impaired

Input Files

Left: ...

Right: ...

Center: ...

Sub: ...

Left Surround: ...

Right Surround: ...

Left Center: ...

Right Center: ...

HI: ...

VI-N: ...

Output File

Sound: ...

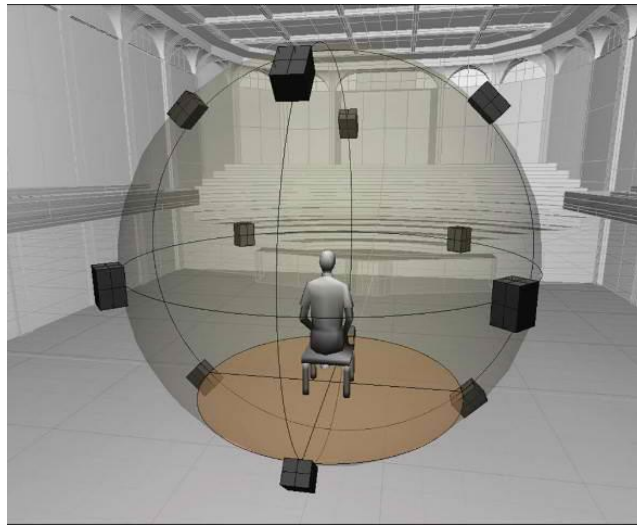
Create MXF

Configuración de los canales de sonido para 7.1 para DCP con OpenDCP. El sistema crea un archivo MXF a partir de los ocho canales mono en formato PCM (.wav)

El siguiente apartado lo dedicamos al [‘Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos’](#), que ha irrumpido con fuerza en el mundo del cine. El ejemplo más conocido es ‘Dolby Atmos’, pero hay también otros sistemas compitiendo en este mercado emergente.

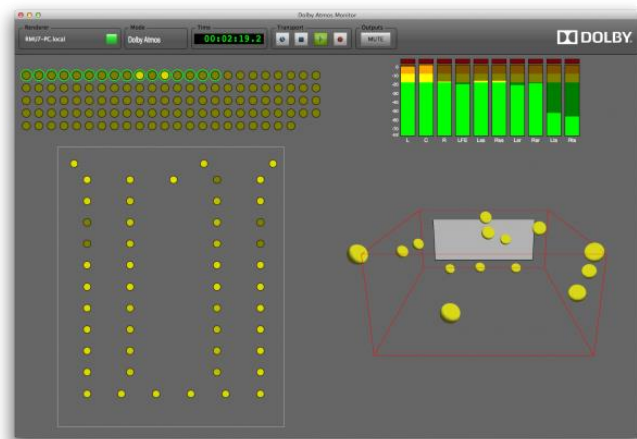
Sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos

El nuevo paradigma en audio es el sonido inmersivo, sonido 3D o sonido basado en objetos, que tiene aplicaciones en exhibición de cine en salas, en realidad virtual y también en el entorno de consumo doméstico de contenidos audiovisuales. El nuevo modelo ya no está basado en el número de canales: las mezclas para sonido inmersivo ubican cada fuente sonora, denominadas objetos, en el espacio 3D.



Esquema de la recepción de sonido inmersivo. Fuente: [Newsbytes](#)

El campo de sonido que percibe el ser humano es como una esfera y nosotros estamos dentro de ella escuchando distintas fuentes de sonido u objetos. Con los sistemas de sonido basados en canales, los creadores tienen que pensar en la configuración que tiene el cliente final (2.0, 5.1 o 7.1) para que los efectos de espacialidad suenen eficazmente. Pero los sistemas de audio basados en objetos ofrecen mayor libertad creativa porque se incluye en los metadatos una descripción espacial de la ubicación de cada objeto. A partir de estos metadatos, el procesador del audio tendrá que ajustar la mezcla en función del número de altavoces disponible y su posición en cada sala. El procesador determinará automáticamente cómo usar estos metadatos para crear el campo de sonido más inmersivo posible.



Interfaz de usuario de Dolby para la colocación de objetos sonoros en el espacio 3D. Fuente: Dolby



Colocación de los altavoces laterales y superiores en una instalación Dolby Atmos. Fuente: Dolby

Esta flexibilidad facilitada por los metadatos del sonido basado en objetos viene acompañada de otras innovaciones, entre las que destacan:

- Altavoces en el eje vertical
- Altavoces con mayor capacidad para reproducir las frecuencias del espectro audible (20 Hz; 20 kHz)
- Presencia de altavoces subwoofers no solo detrás de la pantalla sino también en las zonas traseras y laterales de la sala.
- Gestión específica del rango dinámico para cada entorno de reproducción
- Mayor precisión de la panoramización de las fuentes de sonido
- Mayor precisión y complejidad de las reverberaciones y *delays*

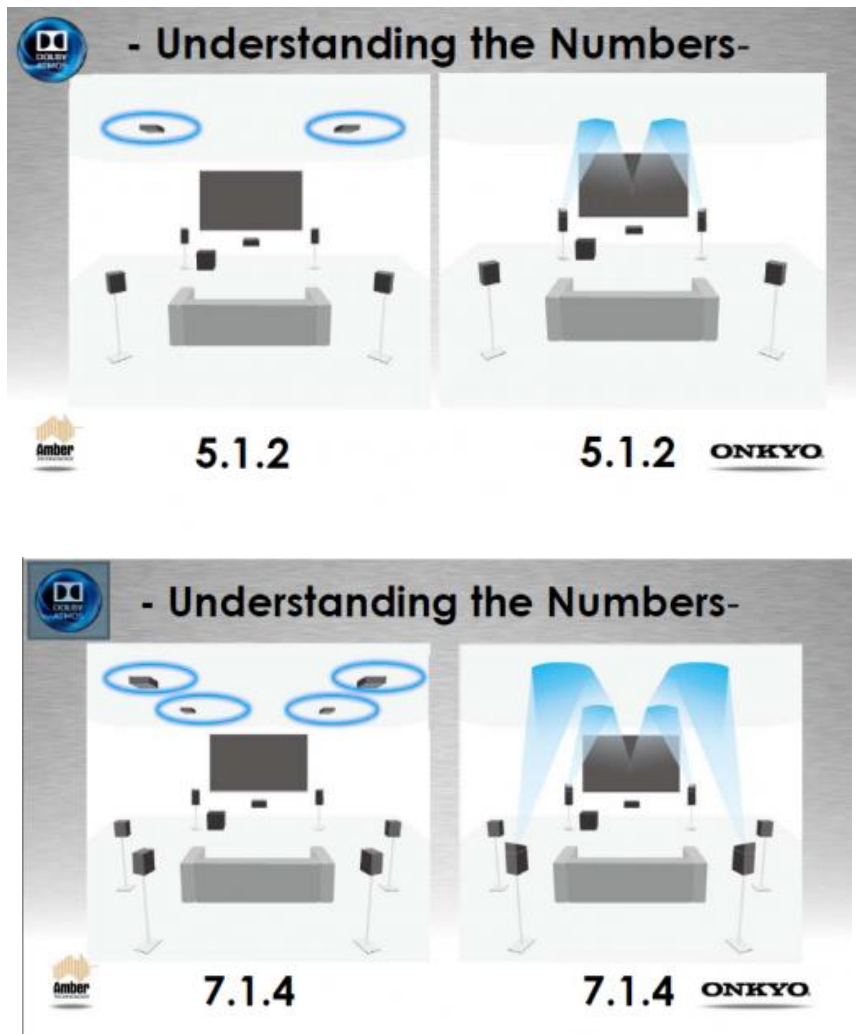
El diseño de sonido basado en objetos hace que la experiencia del audio envolvente sea posible con cualquier configuración de altavoces, aunque, como es obvio, a mayor número de altavoces, mejor será la experiencia inmersiva, ya sea en una sala de exhibición o en el hogar (*Home Cinema*).



Configuración de los altavoces Home Cinema. Fuente: Auro 3D



Para designar las distintas configuraciones de altavoces se utilizan un código de tres cifras. Por ejemplo, en 9.2.4, la primera cifra (9) indica el número de altavoces tradicionales, la segunda (2), el número de altavoces de subgraves (*subwoofer*) y la tercera el número máximo de altavoces de altura o eje vertical.



Entendiendo los números: en la izquierda con altavoces en el techo y a la derecha utilizando sonido reflejado en el techo. Fuente: Onkyo

Para cimenatografía hay ahora tres sistemas de sonido inmersivo compitiendo:

- En 2012, Dolby lanzó '[Dolby Atmos](#)' con la película *Brave* (2012, Pixar, Mark Andrews & Brenda Chapman).



- Dos años más tarde, en 2015, DTS entró en escena presentando su sistema de mezcla de sonido por objetos, '[DTS X](#)', de momento más centrado en la electrónica de consumo, como los Blu-ray 4K.
- El tercer actor es '[Auro 11.1](#)', de la compañía Barco, especializada en proyección digital para cine. La primera película que utilizó Auro es *Red Tails* (2012, Lucasfilm, Anthony Hemingway)



La mayor dificultad para la implantación de estos sistemas inmersivos es la interoperabilidad: cada exhibidor debe apostar y elegir uno para instalarlo en sus salas. Afortunadamente en el ámbito doméstico la mayoría de los componentes (TV UHD, receptores AV, reproductores multimedia...) cuentan con los códecs de varios fabricantes a la vez.

Debido a la diversidad de instalaciones de sonido en las salas de exhibición y los hogares, una misma película se tiene que poder escuchar en estéreo, en 5.1, en 7.1 y en sonido inmersivo 3D. Estas conversiones se basan en el concepto de *downmix*.

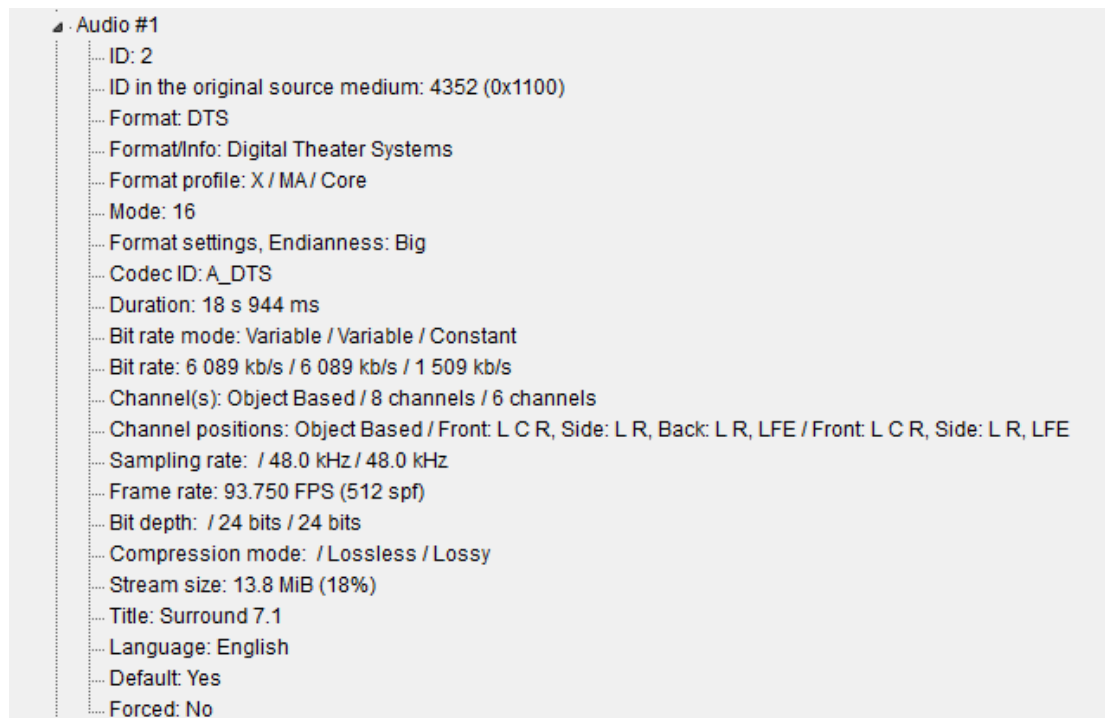
El *downmix*, es el procedimiento por el cual una mezcla basada en una configuración de más canales/altavoces se reduce a una configuración menor, por ejemplo, pasar de una mezcla 5.1 a un estéreo. No se trata solo de una cuestión de recolocación de las fuentes de sonido, si no también, de *delays*, coeficientes reductores de volumen, dinámica y ecualización. El proceso de *downmix* tiene que garantizar que una película se escuchará fielmente en cualquier instalación en un hogar.

Para la adaptación del sonido basado en objetos a los distintos escenarios de recepción domésticos, se utilizan los metadatos que vienen asociados al archivo de sonido MXF.

“El equipo de reproducción, cuando lee el MXF con los metadatos, tiene que detectar el procesador y el modo de distribución, y entonces, hace el ajuste de la espacialidad y la dinámica. Por ejemplo, en la reducción de 64 canales de sonido a 16, hay un conflicto brutal de dinámica. Si no se hace bien, ciertos altavoces pueden acabar saturados. Ese ajuste de espacialidad y ese segundo ajuste de dinámica, es de lo más interesante que traen ‘Dolby Atmos’, o ‘DTS-X’ o ‘Auro11.1’.” ([Sergio Márquez](#))



Metadatos de un archivo MXF preparado para Dolby



Metadatos de un archivo MXF preparado para DTS

Los estudios de sonido certificados por Dolby como ‘Dolby Atmos Premier’ pueden llegar a tener hasta un máximo de 128 canales mapeados para disponer de 64 *outputs* simultáneos. Y gracias al *hardware* con el que están dotados pueden comprobar en tiempo real como queda el



resultado en otras configuraciones más reducidas como por ejemplo, 16 altavoces, un entorno 5.1 o incluso un estéreo.

En España todavía hay pocas salas que hayan apostado por el sonido inmersivo, pero afortunadamente, el número va creciendo. Las grandes cadenas, como Kinopolis, Odeon o Warner, han optado por la propuesta de Dolby. 'Auro 11.1' tiene niveles muy bajos de implantación por dos motivos: el primero de ellos es que resulta el menos inmersivo de los formatos contendientes; y el segundo y principal, es que prácticamente solo se instala cuando se ha comprado previamente un proyector DCI de la misma marca, es decir, un proyector 'Barco'.

Sonido para salas de exhibición de cine

La norma DCI para los servidores DCP es la referencia técnica que se utiliza para la exhibición de cine digital en salas.

Estas son las recomendaciones básicas que hace [Fernando Alfonsin](#) en relación al audio para la creación de un DCP:

- Un DCP puede incluir hasta 32 pistas de audio lineal PCM.
- Las configuraciones más comunes son 5.1, 7.1 y estéreo 2.0.
- Para crear un DCP necesitamos que nos entreguen cada canal por separado en un fichero .WAV (mono) con una resolución de 24 bits y una frecuencia de muestro de 48 kHz o 96 kHz.
- Una vez procesados todos los canales se crea un fichero MXF con ellos.

El sonido multicanal, al ser PCM, no necesita codificación Dolby y por tanto se ahorra en el coste de esta licencia.

Cuando se masteriza una película para DCP se pueden dar las siguientes configuraciones de audio multicanal:

| Configuración | Canales y formato | |
|---------------|-------------------|---|
| Estéreo | 2 PCM | left (L.), right (R.) |
| LCR | 3 PCM | left, center, right |
| 5.1 | 6 PCM | front L., C., front R., surround L, surround R. + Subwoofer |
| 7.1 | 8 PCM | se añaden los canales traseros: rear L. y rear R. |
| Inmersivo | MXF | sonido por objetos, sonido 3D |

El estéreo no se usa en cinematografía. En la configuración mínima se incluye un tercer canal central: LCR (*left, center, right*). Solo se encuentran en estéreo algunas piezas publicitarias o adaptaciones de otros medios que se exhiben también en las salas de exhibición (desgraciadamente sin haber adaptado su mezcla). El canal central ya se usaba hace décadas, así que en los DCP para exhibición en salas es muy recomendable mezclar incluyendo este



tercer canal. Incluso para cortometrajes con presupuestos muy ajustados, la recomendación es por lo menos hacer un LCR.

En largometrajes de ficción o documentales, lo habitual es la configuración 5.1. En España no se está haciendo casi nada en 7.1. Casi todo es 5.1.

El sonido inmersivo / por objetos / 3D, todavía no está muy extendido. Dolby Atmos se está incorporando recientemente, aunque no muchas producciones hacen todavía este tipo de mezcla.



Sala para mezclas de sonido Dolby Atmos Best Digital: fuente Best Digital

Códecs Sonido para televisión en UHD y Blu-ray

Radiodifusión:

En postproducción de sonido para televisión lo ideal es hacer al menos dos mezclas distintas a la original de las salas de exhibición: un 5.1 nuevo y un estéreo, ajustando dinámicas, ecualizaciones etc.

En radiodifusión no es posible emitir a la vez la versión original y la doblada en 5.1 y estéreo. Ocuparía demasiado ancho de banda. Lo habitual es emitir con Dolby Digital y utilizar el sistema automático de *downmix* para sacar la versión estéreo en el receptor doméstico. Desgraciadamente se produce una pérdida de fidelidad con la mezcla original puesto que el resultado es dependiente de la configuración del receptor que descodifica en el hogar. La mezcla estéreo producida en postproducción siempre estará mejor que el estéreo que se consigue a partir de un *downmix* de Dolby Digital 5.1.

Para la televisión y la difusión digital de audio multicanal, Dolby creó '[Dolby Digital Plus](#)', un códec con más capacidad que el tradicional 'Dolby Digital (AC-3)'.

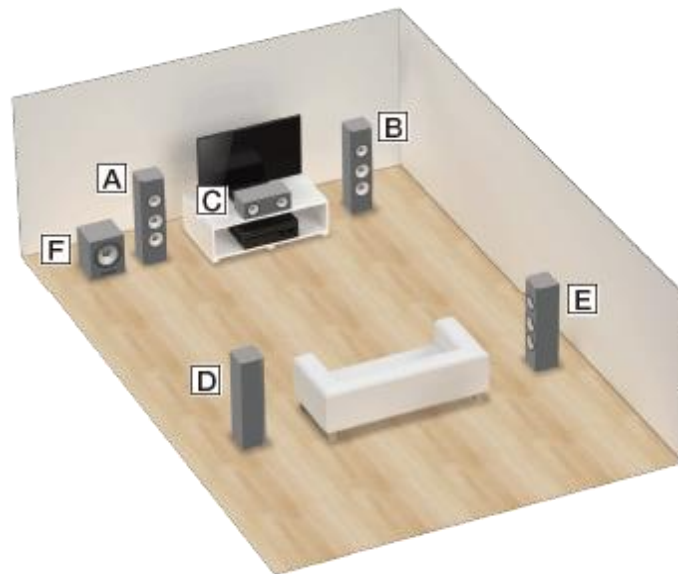


La arquitectura del sistema funciona con un *core* 'Dolby Digital' y unas extensiones (*substream*) que le van añadiendo más capacidades. 'Dolby Digital Plus' puede llegar hasta 6 Mb/s y la extensión 'Atmos' ya permite la recepción en hogar del sonido inmersivo.

El *core* 'Dolby Digital' siempre hace falta, porque las extensiones 'Plus' y 'Atmos' no son reproducibles de forma aislada. Siempre necesitan el paquete anterior, por eso se llaman extensiones.

El 'Dolby Atmos' para *broadcast*, es una versión reducida, pero mantiene el espíritu de la mezcla Atmos que se hizo para los cines. Y es una mejora enorme con respecto al paquete anterior, 'Digital Plus' a secas, y del *core* 'Dolby Digital'.

Para radiodifusión no hay una solución de DTS, ni siquiera aparece como recomendación en las versiones actuales de la norma BT.2020 como 'Dolby Digital Plus'.



Configuración de altavoces para home cinema 5.1 en el hogar: A) Altavoz delantero (izquierda) B) Altavoz delantero (derecha) C) Altavoz central D) Altavoz envolvente (izquierda) E) Altavoz envolvente (derecha) F) Altavoz potenciador de graves. Fuente: Sony

Blu-ray:

Para los Blu-ray se sigue el mismo esquema que para la radiodifusión, pero los códecs son distintos porque no se dan las mismas restricciones en relación con el ancho de banda de la radiodifusión. En los discos Blu-ray la dificultad está en que normalmente se incorporan varios



idiomas para facilitar la comercialización internacional y no hay espacio de almacenamiento suficiente en el disco para poner sonido envolvente en todas las versiones.

Por lo tanto, para Blu-ray nos encontramos con códecs distintos que los que se usan en televisión o para internet. Para el sonido multicanal se pueden dar tres casos:

- 1) Sonido 5.1 PCM. Sonido sin compresión, sin patente.
- 2) '[DTS-HD Master Audio](#)'. Sonido sin compresión; hasta 24.5 Mbits/s de flujo de transferencia.
- 3) '[Dolby True HD](#)'. Hasta 18 Mbits/s de flujo de transferencia.

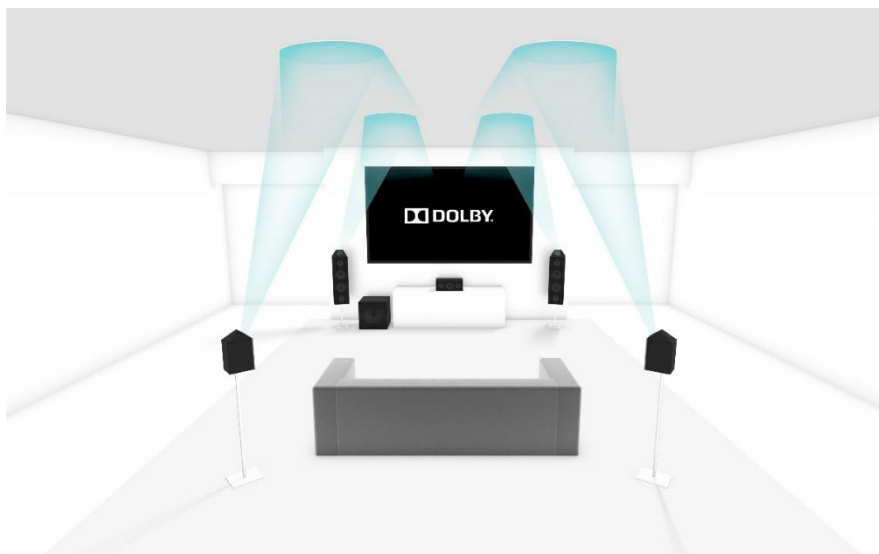


Los primeros Blu-ray venían con sonido 5.1 PCM sin comprimir que no está sujeto a ninguna patente. Pero con este modelo no caben en un disco de 50 GB muchas versiones de idiomas, ni todos los equipos son compatibles con él (aunque parezca paradójico).

Poco a poco el sector se ha ido pasando a 'DTS HD Master Audio', que organiza los ficheros para que ocupen menos espacio, pero sin pérdidas de información (actuando de igual manera que un archivo ZIP). 'DTS HD Master Audio' se utiliza como portador de una extensión que puede llevar el sonido inmersivo DTS-X. Del mismo modo, 'Dolby True HD', permite integrar la extensión Atmos.

Con todo esto, lo habitual en los lanzamientos de Blu-ray 4K de películas, es encontrar este escenario: un 7.1 con DTS-X inmersivo en la versión original; un 7.1 en castellano en DTS HD Master audio; y los demás idiomas en 5.1 o estéreo en Dolby Digital.

En esta imagen se puede ver la contraportada de un Blu-ray 4K donde se ven los diferentes códecs de audio que han incorporado en este lanzamiento comercial.



Configuración de altavoces en el hogar con sonido reflejado en techo. Fuente: Dolby



Altavoz Pioneer S-BS73A para proyectan sonido hacia el techo. Pioneer

Conclusiones sobre audio y ultra alta definición

La mejora de la experiencia de usuario de la ultra alta definición tiene que pasar forzosamente por un sonido de mayor calidad. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos para mejorar la calidad del audio, que están resueltos desde hace años, no se han implantado de forma generalizada.

Manuel Sánchez Cid, profesor de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) y experto en sonido envolvente, ha expresado reiteradamente esta idea:

“La ultra alta definición no termina de significarse por incorporar la implementación definitiva de los parámetros de máximo nivel de calidad de sonido logrados hasta la fecha por el desarrollo tecnológico. No obstante, la llegada del Ultra HD posibilita una reapertura hacia a conceptos de inmersión sonora que, sin ser novedosos, se orientan hacia la implementación del segundo plano vertical, así como parece que permite

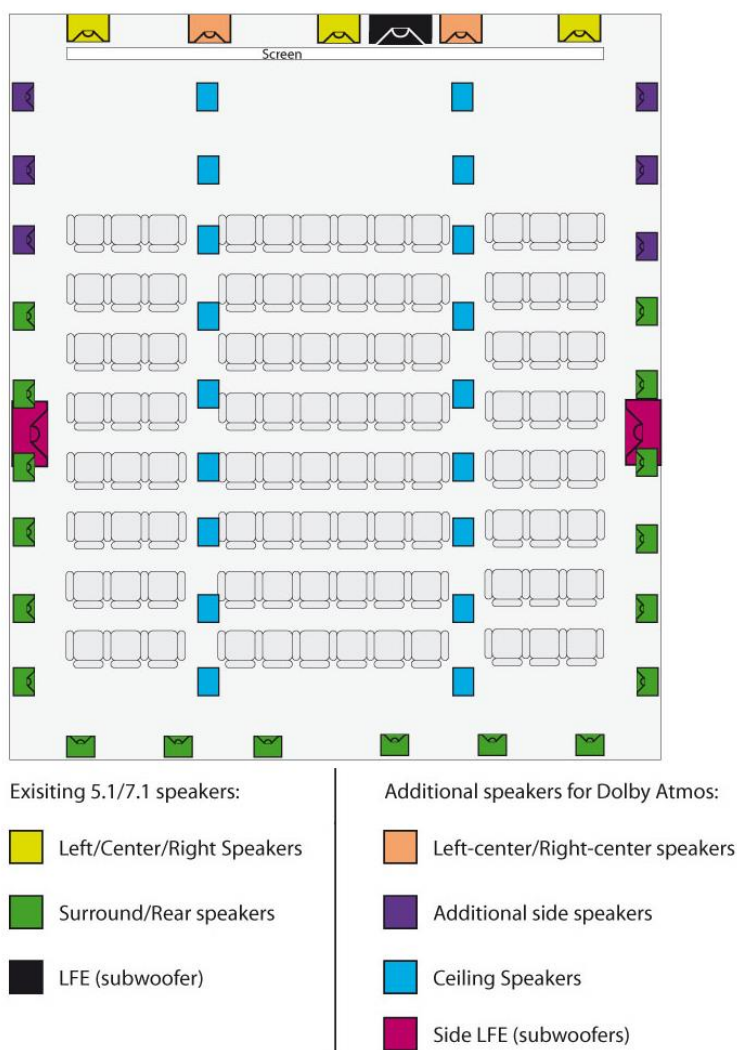


asumir con mayor compromiso una planificación espacial más entroncada con la multiperspectiva y la ruptura del anclaje visual.”

El reto que plantea Sánchez Cid está orientado a cuestiones artísticas de realización y a cómo se utilizan los recursos técnicos disponibles. Con los sistemas de sonidos envolvente, son especialmente relevantes la representación del espacio (planos sonoros) y el punto de audición en el que se sitúa al espectador (perspectiva).

Los niveles de calidad que la tecnología de sonido ofrece actualmente son enormes y lo que se está utilizando en la práctica es muy poco en comparación con de lo que se podría hacer.

Sonido en salas de exhibición. En los complejos de exhibición, la tendencia es la actualización o adaptación al sonido inmersivo o 3D en una configuración básica sólo en la sala con mayor capacidad de público. En las salas o cines nuevos, la tendencia es construir aquellas con más capacidad de espectadores directamente en sonido inmersivo en configuración avanzada y el resto o no dotarlas de sonido inmersivo o hacerlo en una configuración pequeña.



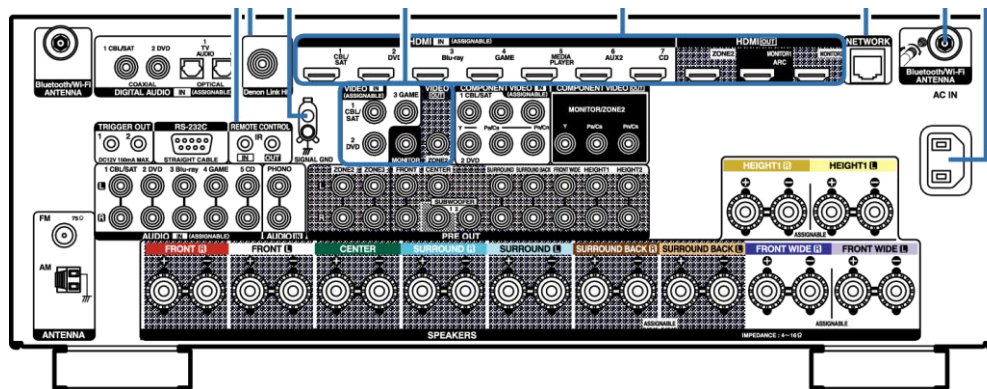
Distribución de altavoces de sonido envolvente para una sala de exhibición de cine.



Radiodifusión. El cuello de botella en cuanto a la calidad de sonido está aquí. Para la captación y la postproducción de sonido hay estándares y herramientas de muy alta capacidad que ven frenada su expansión por la gestión del ancho de banda, el coste económico de la renovación de equipos y la falta de compromiso con la innovación. Las emisiones en mono o estéreo son mayoritarias en la TDT. En la TV por satélite/cable, el Dolby 5.1 convive con las difusiones en estéreo.

Vídeo bajo demanda. Es el actual motor del desarrollo y la innovación técnica en la entrega de materiales con mayor calidad de imagen y de sonido, con *bit rates* más elevados, códecs de última generación, sonido inmersivo, etc.

Consumo audiovisual de alta calidad en el hogar o *Home Cinema*. Los equipos de *Home Cinema* facilitan las condiciones necesarias para disfrutar el sonido prácticamente con la misma calidad que en el estudio de producción (evidentemente, sin contar el acondicionamiento acústico, etc.). A través de las redes digitales, a estos equipos les pueden llegar contenidos HDR / 4K / sonido inmersivo/ audio sin pérdidas etc., todo al máximo nivel de calidad. Hace tan solo unos pocos años esto era impensable en un hogar.



Panel trasero del receptor AV Denon AVR-X4200W para sonido envolvente. Fuente: Denon



Almacenamiento y archivo

Una vez terminada la postproducción se plantea el problema de guardar el máster en un formato seguro, de alta calidad y que soporte el paso del tiempo. Esta es la última fase de la cadena de producción y un tema de gran interés para filmotecas, grandes cadenas de televisión, productoras o cualquier organización que tenga la responsabilidad de preservar el material audiovisual para el futuro. Y no solo en la industria audiovisual, sino para todos los contenidos digitales de la sociedad del conocimiento. El problema del 4K es que los archivos ocupan cuatro veces más espacio de almacenamiento. ¿Dónde se van a meter entonces todos los datos que están generando las industrias audiovisuales?

Existen distintas propuestas y distintas soluciones tecnológicas, cada una con ventajas e inconvenientes. Vamos a comentar en este apartado los sistemas de cinta LTO, la tecnología de Sony de discos ópticos Sony ODA y el almacenamiento en discos duros.

Las cintas Linear Tape-Open (LTO) es un sistema de almacenamiento económico y fiable. Habitualmente en los rodajes de cine se hace una copia Backup LTO de todo el material de cámara por cuestiones de seguridad y por exigencia de las compañías de seguros. No obstante, para archivos y filmoteca presenta un problema por la retrocompatibilidad de los distintos formatos de cintas: los nuevos sistemas de LTO no son capaces de reproducir las cintas grabadas con los estándares anteriores y quedan obsoletos muy rápidamente. No parece idóneo para el archivo a largo plazo.



Lector grabador HP Ultrium LTO-8. Fuente: HP.

Sony está intentando establecer su sistema Optical Disc Archive (ODA) como estándar. Ha promovido para esta tecnología una norma SMPTE y hay varios fabricantes adscritos a ella. El hecho de que sea un estándar proporciona cierta estabilidad. El precio es más alto que el de las cintas LTO y similar al almacenamiento en discos duros. En la información comercial de Sony hacen una “estimación de vida útil del archivo de más de 50 años para todos los ficheros de datos”.



Equipo y disco Sony de Optical Disc Archive. Fuente: Sony.

El almacenamiento en disco duro es muy inestable. Los discos si no se mueven, se estropean. No se pueden dejar almacenados indefinidamente, hay que encenderlos regularmente. Por otra parte, los discos duros están muy condicionados por los conectores. Ahora, por ejemplo, hay discos conectados por Thunderbolt, pero ¿cuántos años va a durar este estándar de conector?

Libnova es una empresa española que ofrece un sistema de almacenamiento masivo a largo plazo en discos duros. El producto se llama Libdata, es completamente escalable y utilizan tecnología orientada a asegurar la preservación.

Para grandes archivos, cambiar de sistema de almacenamiento, es decir, copiarlo todo de un soporte a otro, es un enorme problema. Por eso es necesario encontrar un sistema que sea un estándar. Hasta ahora la preservación del patrimonio audiovisual se ha servido de la película fotoquímica, pero aún está por determinar cuál será el equivalente para la era de la ultra alta definición.



Sistema de almacenamiento masivo en discos duros de Libdata. Fuente: Libnova.



Conclusiones sobre la migración a la televisión Ultra HD y al cine 4K

La migración a la televisión de ultra alta definición y al cine digital 4K no es solo una cuestión de aumentar la resolución espacial, sino que debe ir acompañada de un espacio de color más amplio y un aumento tanto del rango dinámico (HDR) como de la frecuencia de fotogramas (HFR). Para mejorar la experiencia de usuario significativamente también hay que incorporar las nuevas tecnologías de sonido inmersivo. Todos estos avances tienen que estar dirigidos a incrementar la sensación de calidad y a potenciar el componente artístico de las obras.

Desde el punto de vista técnico, el espacio de color que se ha implantado para el cine digital (el DCI-P3) no es suficiente. Tiene un gamut muy reducido, parecido al BT-709 de la televisión HD, e inferior al del cine fotoquímico. En ese sentido el paso de la película al vídeo digital ha sido un retroceso. Aún es necesario un nuevo desarrollo tecnológico con un gamut más amplio y una relación de contraste mayor para superar al positivo cinematográfico.

Para la exhibición de cine en salas ya se está hablando de actualizar la norma DCI. La actual tiene limitaciones muy grandes de relaciones de aspecto y frecuencias de fotogramas. Por ejemplo, no está contemplado el formato 4:3 ni la proyección a 16 fps. Las filmotecas tienen muchísimo material de estas características y la norma no las contempla.

Para la radiodifusión televisiva está definido el espacio de color BT-2020 que supone un importante avance, pero las pantallas 4K que se están comercializando no lo han implementado todavía y aún está pendiente una norma estable sobre el rango dinámico de la imagen.

Para la producción de programas de televisión, el aumento de la resolución y el contraste de la imagen tiene implicaciones en la dirección de fotografía, la puesta en escena y la dirección artística. La iluminación, escenografía, el maquillaje y la composición de las imágenes tendrán que acercarse más a los modos de trabajo del cine de ficción y cuidar más los detalles que se podrán apreciar en las nuevas pantallas.

El salto tecnológico también implica un aumento de la frecuencia de fotogramas por segundo. Con las frecuencias más altas se obtienen imágenes más nítidas y un movimiento más suave. Esto es especialmente relevante teniendo en cuenta que el incremento de resolución espacial permite ampliar el tamaño de las pantallas y reducir la distancia de visionado.

Un estudio de la BBC⁸ sobre las condiciones de visionado de la televisión en el Reino Unido analiza la sensación de calidad en relación con el tamaño de la pantalla y con la distancia a la que se sitúa en el espectador. A una distancia de 2 o 3 metros con un televisor de 40" o 50", la diferencia de resolución espacial entre HD y Ultra HD no es muy apreciable por una cuestión fisiológica de agudeza visual. El 4K será muy notorio en pantallas gigantes cuando el espectador se sitúe muy cerca, como por ejemplo con una pantalla de 100 pulgadas observada a una distancia de 2 metros. Pero esta no es una situación habitual en los hogares.

⁸ Noland, Katy C. & Truong, Louise H. (2015) "A Survey of UK Television Viewing Conditions", BBC Research & Development, White Paper WHP 287



Y no es solo cuestión de tamaño y resolución. También es preciso una nueva generación de pantallas más brillantes, con capacidad para representar el contraste y el color con mayor fidelidad.



Pantalla de 110 pulgadas de Samsung. Fuente: Homecinema Magazine.

No obstante, la implantación de la televisión de ultra alta definición y el cine 4K está en marcha con paso firme:

- La parte de la producción está muy avanzada: las cámaras, los grabadores digitales y los sistemas de postproducción pueden trabajar en estos nuevos estándares de calidad.
- Para la difusión existe la norma HEVC que funciona correctamente para televisión vía satélite o cable y para la difusión por internet.
- Ya se está comercializando una primera generación de televisores 4K HDR para los hogares.

Este último aspecto, el de las pantallas, es el más crítico. Para que los usuarios se decidan a invertir en un televisor nuevo, la industria tiene que ofrecer un valor añadido claro. No parece que con la Ultra HD a 4:2:0, 8 bits y con el espacio de color de la norma BT-709 se cumpla este requisito. Las estrategias de *marketing* de los fabricantes de pantallas macarán los ritmos de implantación de las nuevas prestaciones técnicas.

El proceso de migración se puede alargar muchos años. La experiencia de las transiciones anteriores así lo indica: la definición de las normas de la televisión digital se produjo a principios de los años 90 y la sustitución tecnológica se completó en Europa en 2012, 20 años después. Y eso que el paso de la televisión analógica a la digital contó con una fuerte mediación de los Estados que necesitaban completar el cambio para liberar espectro de radiodifusión. En el caso de la migración a Ultra HD no se darán este tipo de incentivos porque la emisión en 4K ocupa más ancho de banda y es más costosa.



También identificamos una dificultad en los catálogos de contenidos. Todo el material que se difunde hoy en día está producido en el espacio de color BT-709 o DCI-P3. Cuando se empiece con el espacio de color de BT-2020 y se concreten las normas HDR, no habrá contenidos preparados con estas características. Estas conversiones requieren periodos de tiempo muy largos porque implican fuertes inversiones de los proveedores de contenido. Será necesario recurrir a los originales en soporte fotoquímico o generar nuevos materiales para aprovechar todo el potencial de calidad de la nueva tecnología.

La creación audiovisual siempre ha estado vinculada al desarrollo tecnológico, desde los primeros pasos de la fotografía y el cine hasta hoy. Los profesionales tienen que utilizar las nuevas herramientas y formatos para sus creaciones en una lógica de innovación continua marcada por la industria y la comercialización de las obras. Forma parte del trabajo y está implícito en las profesiones del audiovisual. Siempre ha sido así: con la incorporación del sonido y el color en el cine, con la aparición de los distintos formatos de película o con la llegada de la imagen electrónica y digital. Cada uno de estos cambios ha supuesto un reto para los artistas que han explotado las nuevas posibilidades que ofrece la tecnología. La cuestión es aprovechar estas innovaciones para la creación artística, para hacer nuevas obras y mejores.

La tendencia está marcada. Con este trabajo de investigación intentamos aclarar dónde están las claves de este desarrollo tecnológico, en qué momento estamos y cuáles son las perspectivas que se generan bajo la etiqueta que los profesionales del *marketing* han definido como 4K HDR.